Natanson Wł.
(Zakrzewski Zn.)?

Wiadomości z nauki fizyki
k. 1–118

katal. zesp. 1912-8

ROZDZIAŁ PIERWSZY.

O ruchu. O siłach. O ciężkości. O ciążeniu.

§ 1. Ciała.

Mamy wciąż do czynienia z różnemi rzeczami czyli przedmiotami; w nauce nazywamy je *ciałami*. Sprzęty nasze naprzykład, naczynia, narzędzia, budynki, odzież nasza, potrawy, napoje, ~~dalej~~ kamienie, rośliny, zwierzęta — są to ciała. Drobne ziarnko piasku jest ciałem, olbrzymia góra jest ciałem. Zarówno kawałek żelaza jest ciałem, jak chmura na niebie, ~~lub~~ dym, uchodzący z komina. Woda, płynąca rzeką, jest ciałem; ciałem jest też powietrze, w którem jesteśmy zanurzeni.

H lub

Ciała zajmują i wypełniają miejsce; powiadamy, że każde ciało ma pewną *objętość*. Góra np. ma pewną objętość i ziarnko piasku ma pewną objętość; tylko góra ma znacznie większą objętość. Wnętrze dzbana ma większą objętość niż szklanka; powiadamy, że dzban ma większą *pojemność* niż szklanka.

Weźmy duży arkusz papieru i niewielki klocek drewniany. Arkusz papieru ma ~~mniejszą~~ *objętość* Γ niż klocek; jeśli włożymy po kolei jedno i drugie do dzbana pełnego wody, zobaczymy, że klocek wypycha znacznie więcej wody. Ale arkusz papieru ma znacznie większą *powierzchnię* niż klocek; istotnie, możemy klocek owinąć papierem i nie tylko raz, ale kilka razy. Dlaczego papier, pomimo znacznej powierzchni, ma nieznaczną objętość? Ponieważ papier ma grubość nieznaczną. Kawałek drutu, równie długi jak ołówek, będzie miał objętość mniejszą niż ołówek, ponieważ jest mniej gruby, czyli ponieważ ma mniejsze poprzeczne *przecięcie*. [redacted] Ale bardzo długi drut może mieć takąsamą objętość jak ołówek, jeśli mniejsze swe przecięcie wynagrodzi znacznie większą długością.

Γ małą, mniejszą

1.

§ 2. O mierzeniu.

Porównywaliśmy ⊥ objętość góry z objętością ziarnka, pojemność dzbana z pojemnością szklanki, ~~dalej~~ powierzchnię papieru z powierzchnią klocka, długość drutu z długością ołówka. A zatem można porównywać objętość z objętością, powierzchnię z powierzchnią, długość z długością. Ale nie można porównywać 7 powierzchni Ш z długością, gdyż ~~bo~~, ilekolwiek razy wzięlibyśmy jaką długość, zawsze otrzymalibyśmy ↓ długość δ nigdy Γ powierzchnię. Taksamo nie można porównywać powierzchni z objętością, ani objętości z długością.

⊥ w § 1.

7 np.

↓ znów δ dy Γ zaś

Przypuśćmy, że porównaliśmy ~~pomiędzy sobą~~ trzy długości, np. ↓ trzech prętów *A*, *B*, *C*. Przekonaliśmy się, że:

pręt *A* jest 3 razy dłuższy od pręta *B*;
pręt *B* jest 4 razy dłuższy od pręta *C*.

↓ długości

Lepiej Γ wtedy obrać długość pręta *C* za jednostkę Ш powiedzieć, że:

Długość pręta *A* = 12 razy długości pręta *C*;
Długość pręta *B* = 4 razy długości pręta *C*.

Γ jest Ш czyli

Gdyby wszyscy wiedzieli, jak długi jest pręt *C*, możnaby było powiedzieć poprostu:

Długość pręta *A* = 12.
Długość pręta *B* = 4.

§ 3. Jednostki metryczne/

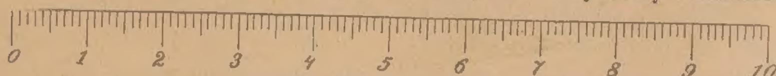
/ długości.

Taką właśnie długością, którą wszyscy znają, jest w wielu krajach *metr;* dlatego nazywamy metr *jednostką długości.* Wszelkie długości należy więc *porównywać* z metrem, czyli *mierzyć metrem.* Gdy powiemy: »pięć metrów« lub »półtora metra«, wszyscy będą wiedzieli, o jakiej długości mówimy, gdyż metr ma/raz na zawsze ~~prawem~~ przepisaną [redacted] i łatwo jest otrzymać jego kopię czyli odtworzenie. Metr *(m)* wynosi jedną czterdziesto-milionową część obwodu południka ziemskiego (czyli koła, które, przechodząc przez oba bieguny, obejmuje całą kulę ziemską). *Decymetrem (dm)* nazywa się dziesiąta część metra; *centymetrem (cm)* setna część metra; *milimetrem (mm)* tysiączna część metra. *Kilometrem* nazywa się tysiąc metrów. Rys. 1. ~~przedstawia~~ decymetr, podzielony na centymetry i milimetry.

/ długość

T przez prawo

|-| wyobraża

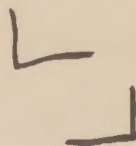


Rys. 1.

§ 4. Jednostki metryczne pola i objętości.

Podobnie, jak długości można porównywać tylko z pewną długością, rozległości powierzchni czyli *pola* [redacted] można porównywać tylko z rozległością pewnej powierzchni czyli z pewnem polem. Jednostką długości jest, jak wiemy, pewna, raz na zawsze obrana długość, mianowicie metr; podobnie jednostką pól jest pewne, raz na zawsze obrane pole. Metryczną jednostką pól jest *metr kwadratowy* [redacted] *(m²)* czyli pole kwadratu, którego boki mają każdy po 1 metrze długości. Inną jednostką pól jest t. zw. *ar (a)*, który jest równy 100 metrom kwadratowym. Sto arów nazywamy *hektarem (ha)*. Ar zatem można wyobrazić jako kwadrat o bokach, równych (10 metrom/każdy), hektar jako kwadrat o bokach, równych (100 metrom/każdy). Obie te jednostki pola bywają używane przy pomiarach powierzchni gruntu.

Pragnąc mierzyć objętości, musimy znowu posługiwać się pewną, raz na zawsze obraną objętością, którą nazywamy jednostką objętości. Taką jednostką objętości metryczną jest *metr sześcienny* [redacted] *(m³)* czyli objętość sześcianu, którego krawędzi mają każda po 1 metrze długości. Objętość sześcianu, którego krawędzi mają każda po 1 decymetrze długości, nazywa się decymetrem sześciennym lub krócej *litrem (l).* Metr sześcienny zawiera zatem 1000 litrów.



Miary metryczne zostały po raz pierwszy ustanowione we Francyi, w końcu XVIII. stulecia, przez komisyę uczonych; następnie, jako nadzwyczaj dogodne, upowszechniły się w wielu innych krajach i państwach.

§ 5. Ruch.

Jeśli ktoś stał na środku pokoju a później widzimy go koło drzwi, powiadamy, że *zmienił miejsce* w pokoju. Gdybyśmy byli ciągle nań zważali, bylibyśmy zobaczyli, jak przeszedł od środka pokoju do drzwi; bylibyśmy widzieli, jak się *poruszał.* Każda zmiana miejsca jest wynikiem *ruchu,* [redacted] Co nie zmienia miejsca, to jest w spoczynku t. j. nie porusza się.

Gdy więc chodzi ktoś, biega lub skacze, jest w ruchu; [redacted] gdy siedzi lub leży, jest w spoczynku. Kamień, leżący na ziemi, jest

w spoczynku. Gdy go podnosimy, jest w ruchu; jeśli go rzucimy, porusza się, dopóki znów nie upadnie na ziemię. Wóz toczy się po drodze; chmury przeciągają po niebie; koło w maszynie się kręci; huśtawka się kołysze, drzewa się chwieją; wszystko to są przykłady ruchu. W sadzawce woda jest zwykle w spoczynku; w strumieniu, w rzece, w wodotrysku — jest w ruchu.

Trzeba odróżniać ruch ciał jako całości od ruchu ich części. Gdy np. koło w maszynie obraca się, różne części koła ~~poruszają się~~ są w ruchu, ale koło jako całość nie zmienia swego miejsca. Jeżeli zaś, przeciwnie, ktoś tosamo koło ciągnie po podłodze, porusza się ono wówczas jako całość. Ruch całości ciała nazywa się postępowym. Zatem koło kręcące się w maszynie nie odbywa ruchu postępowego; ruch, który ono odbywa, nazywa się obrotowym. Wyobraźmy sobie powóz, toczący się po drodze. Pudło tego powozu ma ruch postępowy; koła powozu odbywają ~~jednocześnie~~ ruch i postępowy i obrotowy zarazem.

Każdy ruch odbywa się w jakimś *kierunku*. Kamień np., puszczony swobodnie ale nie rzucony, biegnie prosto ku ziemi, czyli *spada*. Idąc prosto przed siebie, odbywamy ruch w kierunku ciągle jednakowym; gdy zaś obchodzimy coś dokoła, ruch nasz ma w każdej chwili coraz inny kierunek. Ruch wzdłuż jakiejkolwiek linii, prostej czy krzywej, może odbywać się w dwu przeciwnych sobie kierunkach. Pociąg np., stojący na szynach, może poruszać się bądź naprzód, bądź wstecz. Szufladę można wysuwać i wsuwać. Statki i tratwy płyną po rzece z wodą i pod wodę.

Drogą w języku codziennym nazywamy miejsce, przeznaczone na to, by po niem chodzili ludzie, biegły konie, toczyły się wozy i powozy. Lecz niekiedy nadajemy inne znaczenie temu wyrażowi, gdy np. mówimy: »tędy wypada mi droga« lub: »mam daleką drogę do odbycia«. W języku naukowym *drogą* nazywamy linię, po której odbywa się pewien ruch.

W dalszym ciągu

Kamień, uwiązany na sznurku i obracany około dłoni, porusza się po drodze kołowej. Poruszając szybko w ciemności zapałkę tlejącą, widzimy smugę ognistą, którą zapałka [jak gdyby] zostawia[ła] po sobie. Gwiazda spadająca daje ślad świetlny na niebie. Statek, płynąc po jeziorze, tworzy smugę na powierzchni wody. W tych razach *widzimy drogę*, którą odbywała zapałka w powietrzu, gwiazda na niebie lub statek po wodzie. Kiedy piszemy kredą na tablicy, mamy drogę kredy po tablicy w postaci liter i wyrazów.

§ 6. Czas.

Każdemu wiadomo, że czas ciągle upływa. Czy czuwamy, czy śpimy, czas płynie bez przerwy. Czy o nim pamiętamy, czy też zapominamy, czas nieustannie posuwa się naprzód.

Bieg czasu mierzymy ruchem wskazówek zegarów. Najlepszym zegarem jest sama kula ziemska, na której mieszkamy. Ziemia obraca się dokoła swej osi; jeden taki obrót trwa jedną dobę. Doba wynosi 24 godziny czyli 1440 minut czyli 86400 sekund. Z tym właśnie obrotem kuli ziemskiej porównywają astronomowie bieg zegarów w Obserwatoryach astronomicznych i z nim go zgadzają czyli według niego zegary regulują.

§ 7. Ruch wymaga czasu.

Żeby ujść kilometr po zwykłej drodze, trzeba mniej więcej kwadransa czasu, czyli 15 minut. Jadąc średnim kłusem końskim, przebywa się kilometr mniej więcej w ciągu 5 minut. Pociągowi pośpiesznemu na kolei żelaznej wystarcza na przebycie kilometra jedna minuta. Wystrzelona z działa kula przebiega kilometr w ciągu dwóch sekund. Nakoniec ziemia nasza w drodze swej około słońca zużywa na przejście kilometra tylko $\frac{1}{30}$-tą część sekundy. Możnaby wyobrazić sobie, że jakieś ciało pędzi tak, iż przebywa kilometr w czasie jeszcze krótszym, np. w ciągu $\frac{1}{100}$-ej albo $\frac{1}{1000}$-ej części sekundy. Ale nie można pomyśleć, ażeby na przebycie kilometra wcale nie potrzebowało czasu; w tejsamej chwili ciało nie może być u początku i u końca tego kilometra. *Wszelki ruch wymaga czasu.*

Kiedy pieniądz wypadnie komu z ręki, wydaje się, jak gdyby w tejsamej chwili już był na ziemi; lecz tak nie jest. Nietrudno jest pochwycić spadający pieniądz w biegu; zanim więc dobiegnie on ziemi, mamy widocznie czas spostrzedz, co się dzieje i wprawić rękę w ruch, ażeby go pochwycić. Rzeczywiście, pieniądz, puszczony z odległości półtora metra od ziemi, dobiegnie jej dopiero po upływie przeszło pół sekundy.

§ 8. Prędkość.

Mówi się, że ktoś idzie *prędko*, jeżeli czas niezbyt długi wystarcza mu na przebycie pewnej drogi. Jeżeli kto inny tę samą drogę przebywa w czasie dłuższym, powiadamy, że porusza się mniej prędko czyli z mniejszą *prędkością*. Zatem prędkość ruchu jest tem znaczniejsza, im krótszy jest czas, potrzebny

do przebycia pewnej oznaczonej drogi. Kula ziemska, jak wiemy z § 7., biegnie prędzej niż pociąg pośpieszny; pociąg prędzej niż powóz; powóz jedzie prędzej, niż człowiek pieszo idzie.

Wypuśćmy jednocześnie ze stacyi pociąg pośpieszny i towarowy; po upływie godziny pociąg pośpieszny znacznie wyprzedzi towarowy, t. j. w czasie jednakowym odbędzie drogę dłuższą niż towarowy. Zatem, im prędkość ruchu jest większa, tem dłuższa jest droga, przebywana w jakimś oznaczonym czasie. Kto n. p. jest ścigany, biegnie jak może najprędzej, bo pragnie przebyć w jednakowym czasie drogę dłuższą, niż ścigająca go pogoń.

§ 9. Prędkość stała i zmienna.

Pociąg, stojąc na stacyi, nie ma wcale prędkości. Kiedy z niej wyrusza, jedzie [redacted] coraz prędzej, t. j. nabiera coraz większej prędkości; ruch pociągu jest [redacted] wówczas [redacted]. *przyśpieszony*. [redacted] Rozpędziwszy się należycie, pociąg nie przyśpiesza ale też nie zwalnia biegu; porusza się więc z prędkością *stałą*, czyli porusza się ruchem *jednostajnym*. [redacted] Nareszcie, zbliżając się do następnej stacyi, na której ma stanąć, pociąg zwalnia biegu, więc zmniejsza swą prędkość; tu znowu ruch [redacted] niejednostajny, [redacted] *zwolniony* [redacted] Po wyruszeniu z pierwszej stacyi, prędkość ruchu pociągu jest zmienna, mianowicie zwiększa się; pomiędzy stacyami jest stała; [redacted] w pobliżu drugiej stacyi znowu jest zmienna, mianowicie zmniejsza się.

więc ; , jak się mówi, ; pociągu jest ; mianowicie jest

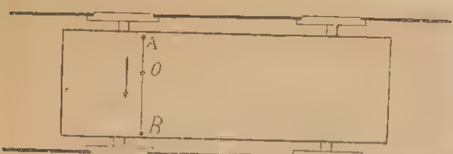
Jeśli pociąg, zupełnie rozpędzony i biegnący jednostajnie, przebywa kilometr w ciągu minuty, przebędzie piętnaście kilometrów w ciągu kwadransa, [redacted] sześćdziesiąt kilometrów w ciągu godziny. Zatem, czy powiemy, że porusza się z prędkością kilometra na minutę, czy też, że z prędkością sześćdziesięciu kilometrów na godzinę, będzie wszystko jedno, jeśli ruch jest jednostajny; wówczas bowiem prędkość jego jest stała. Zupełnie jest inaczej, jeśli ruch nie jest jednostajny. Np., gdy pociąg się rozpędza, nie jest wszystko jedno, czy zważamy drogę, przebytą w ciągu pierwszej minuty, czy drogę, przebytą w ciągu dziesiątej lub piętnastej minuty. W ciągu kwadransa pociąg przebywa [redacted] oczywiście daleko dłuższą drogę, niż gdyby był się ciągle poruszał z prędkością, jaką miał w pierwszej minucie; wówczas bowiem prędkość ruchu zwiększa się co chwila.

§ 10. Ruch, złożony z dwu ruchów.

Można jednocześnie chodzić po pokoju i poruszać ręką. Ręka uczestniczy wówczas w ruchu całego ciała t. j. odbywa ~~ten~~ taki sam ruch postępowy, jaki odbywa głowa i tułów; ale prócz tego odbywa swój ruch własny, zupełnie tak, jak gdybyśmy wcale nie szli naprzód, lecz stali w miejscu. Mówimy, że *ręka odbywa jednocześnie dwa ruchy:* ruch postępowy całego ciała i ruch własny; lub też, że ręka wykonywa ruch, *złożony* z tych dwu ruchów.

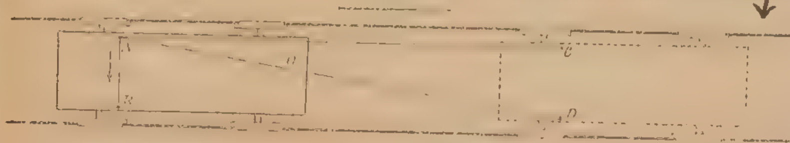
Kiedy w wagonie, który toczy się po szynach, siedzimy nieruchomo, ~~jesteśmy~~ znajdujemy się *w spoczynku względem wagonu*. Rzeczywiście, gdy wagon jest zamknięty, ściany jego i osoby, które w nim siedzą, wydają nam się nieruchome i, gdyby nie turkot i wstrząśnienia, moglibyśmy sądzić, że się wcale nie poruszamy. Wyjrzawszy przez okno, widzimy, że uczestniczymy w ogólnym postępowym ruchu wagonu; mianowicie widzimy, że względem ziemi, względem drzew, względem domów *jesteśmy w ruchu.*

Przypuśćmy, że ktoś po wagonie chodzi wszerz, n. p. od okna do okna. Przypuśćmy, że rys. 2 przedstawia widok tego wagonu, widziany z góry, czyli innemi słowy widok wagonu, jak gdyby przeciętego płaszczyzną poziomą. Niechaj będzie O miej-



Rys. 2. [redacted]

[redacted]scem człowieka w wagonie. Jeśli wagon [redacted], wtedy drogą, po której ruch człowieka się odbywa, jest prosta $A\ B$. Ale jaką drogę odbywa człowiek, jeśli chodzi po


Rys. 3. [redacted]

wagonie, biegnącym po szynach (rys. 3.)? Człowiek odbywa wówczas jednocześnie dwa ruchy: 1. chodzi po wagonie wszerz, jak chodziłby po nieruchomym wagonie; 2. posuwa się naprzód wraz z wagonem i ze wszystkiem, co wogóle znajduje się w wagonie. Dzięki pierwszemu ruchowi porusza się on w ciągu sekundy od A do B (rys. 3.); byłaby to jego droga, gdyby wagon stał w miejscu. Ale wagon w ciągu tej sekundy posuwa się naprzód o długość AC; [redacted] z nim razem cała droga AB jak gdyby posuwała się naprzód, również o długość AC. [redacted]atem rzeczywistą drogą człowieka będzie linia AD. Istotnie, posuwając w myśli człowieka od A do B wzdłuż linii AB i jednocześnie posuwając całą linię AB naprzód wzdłuż linii AC, [redacted] że ostatecznie człowiek posuwa się wzdłuż linii AD.

§ 11. [redacted] O sile.

Ciała same przez się nie poruszają się nigdy. Przedmioty w pokoju [redacted] stoją nieruchomo, dopóki ich kto nie popchnie, nie potrąci, nie pociągnie. I nie tylko stoły i szafy stoją nieruchomo, które i nam trudno poruszyć, ale też takie przedmioty, które można wprawić w ruch z największą łatwością. Choćby się drzwi [redacted] najlżej otwierały, nie otworzą się [redacted] same przez się. Lampa wisząca na sznurze, albo huśtawka, którą poruszyć tak łatwo, pozostawiona sobie, trwa w zupełnym spoczynku. Drzewa i liście na nich, kłosy zboża w polu, które chwieją się i kołyszą za lada podmuchem wiatru, stoją zupełnie nieruchomo w spokojnem powietrzu. Bez pobudzenia zatem, bez podniety z zewnątrz, ciała nie wychodzą ze spoczynku, nie poczynają się ruszać.

To też, gdy chcemy, żeby się jakie ciało poruszyło, dajemy mu do tego podnietę. Ciągniemy szufladę, żeby ją wysunąć; popychamy okno, ażeby je otworzyć. Poruszamy huśtawkę, ażeby ją rozkołysać; żeby koło wprawić w obrót, naprzemian ciągniemy ku sobie jego korbę i od siebie ją odpychamy. Ciągnienie, pchanie, naciskanie nazywa się w nauce *wywieraniem siły*. Człowiek wywiera siłę zapomocą *mięśni*. Ale nie tylko człowiek ma władzę wywierania *siły*. Kula tocząca się przewraca [redacted] woda płynąca [redacted] porusza młyn wodny; wiatr wznosi kurz do góry, obraca wiatraki, niekiedy zrywa kapelusze z głów a nawet dachy z domów. Sprężyna nakręcona wprawia kółka zegark[redacted] w ruch, więc musi je popychać i pociągać podobnie, jak ręka ludzka popycha i pociąga korbę koła, które obraca. Rzeczywiście, jeśli skręcimy sprężynę ręką, albo taśmę kauczukową [redacted]

7 jest w spoczynku,

wszerz

w myśli

zrozumiemy

Np.

n.p.

zwykłem pismem

zwykłem pismem

pędzi liście spadające jesienią,

mocno w ręku wyciągniemy, uczujemy, że sprężyna uciska rękę, że taśma ją ciągnie, zupełnie jak gdyby ktoś ją uciskał lub ciągnął. Próbując młode drzewko zgiąć i pochylić ku ziemi, czujemy, że ono opiera się temu i ciśnie na naszą dłoń. Więc sprężyna skręcona, taśma wyciągnięta, drzewko zgięte wywierają siłę; nazywamy ją *siłą sprężystości* [redacted].

Powiadamy zatem: do wyprowadzenia jakiegobądź ciała ze spoczynku potrzeba działania *siły*.

§ 12. [redacted] Przeciwdziałanie.

Ciągnąc szufladę, popychając drzwi lub okno, poruszając lampę lub huśtawkę, wprawiając koło w obrót, czujemy jakby *opór* szuflady, drzwi, okna, koła, lampy lub huśtawki. Zatem, gdy wywieramy pewną siłę, na nas wywierana jest pewna siła przeciwna. Inaczej mówimy, że działaniu naszemu na ciała towarzyszy *przeciwdziałanie* [redacted], którego od tych ciał doznajemy. Każde wogóle działanie łączy się, w podobny sposób, z przeciwnem mu przeciwdziałaniem. Przeciwdziałanie możemy wykazać wielu sposobami. Pomieściwszy się n. p. w huśtawce lub w łódce, pocznijmy wyrzucać z niej kamienie, uprzednio tam ułożone. Zobaczymy, że huśtawka lub łódka cofa się za każdym rzutem. Kiedy więc my odpychamy kamienie, kamienie równocześnie odpychają nas, a za naszem pośrednictwem łódkę czy huśtawkę. Z podobnej przyczyny pochodzi wsteczne uderzenie, które otrzymujemy, dając strzał ze strzelby, jak również znane cofanie się armat podczas wystrzału.

§ 13. [redacted] Równowaga.

Kiedy siła działa na jakiebądź ciało, wyprowadza je ze spoczynku i wprawia w ruch. Ale każdy ruch odbywa się w jakimś kierunku (§ 5.); zatem i każda siła działa w jakimś kierunku, mianowicie w tym, w którym nadaje ruch. [redacted] Naprzykład; drzewko zgięte ciśnie w tym kierunku, w jakim powraca do swego zwykłego położenia, gdy je oswobodzimy od nacisku.

Wyobraźmy sobie, że na jakiekolwiek [redacted] ciało działają jednocześnie *dwie siły jednakowe*, lecz mające wprost przeciwne kierunki. Przypuśćmy n. p., że jedna ciągnie ciało w prawo a druga w lewo. Ciało nie poruszy się ani w prawo ani w lewo i pozostanie w spoczynku. Mówimy wówczas, że *siły równoważą się*; [redacted] mówimy, że ciało pod działaniem dwóch jednakowych lecz przeciwnych sobie sił pozostaje *w równowadze* [redacted]. Jeśli n. p. dwaj ludzie jednakowo silni staną po dwu stronach wagonu i każdy pocznie ciągnąć go ku sobie (rys. 4.),



Rys. 4.

wówczas wagon nie ruszy wcale z miejsca, jak gdyby go nikt nie ciągnął.-

Należy to dobrze zrozumieć, iż równowaga [redacted] (dwóch różnych) sił nie ma nic wspólnego z istnieniem ~~wzajemnie dopełniających się sił, t. j.~~ działania i przeciwdziałania, pomiędzy każdemi dwoma ciałami, o których była mowa w § [redacted] *Równowagę* mamy, kiedy dwie siły przeciwne sobie zostaną przyłożone *do tego samego ciała*, jak to n. p. widzimy na rys. 4. Działanie zaś i przeciwdziałanie pomiędzy dwoma ciałami, jak [redacted] mówiliśmy w § 11., nie są przyłożone do tego samego ciała, lecz przeciwnie *do dwu różnych ciał*, wzajemnie działających na siebie, [redacted] zatem wogóle *nie* wytwarzają równowagi.

§ 14. Siła ciężkości.

Umocujmy w podłodze jeden koniec taśmy kauczukowej a drugi ciągnijmy ku sobie; taśma ciągnie naszą rękę ku dołowi. Weźmy duży kamień i trzymajmy go w dłoni; kamień ciągnie [redacted] rękę ku dołowi podobnie, jak ciągnęła ją taśma. Połóżmy kamień na materacu lub poduszce; kamień przyciska je podobnie, jak gdyby [redacted] kto ręką przyciskał. Zawieśmy kamień na drzewku wygiętem; drzewko nie wyprostuje się, jak gdyby [redacted] kto przytrzymywał je ręką (rys. 5.). Jakaś siła musi więc działać na kamień, która sprawia, iż kamień przyciska i ciągnie. Siłę tę nazywamy *siłą ciężkości*. [redacted]



Rys. 5.

Trzymajmy kamień w ręku; siła ciężkości działa nań ciągle, ale *równoważymy ją* siłą naszych mięśni. Otwórzmy rękę; wówczas siła ciężkości sama jedna działa na kamień. Kamień zaczyna się poruszać. Dokąd pójdzie? Nie będziemy go szukali na ścianach, ani na suficie; wiemy, że pójdzie na dół, że będzie *spadał* (§ 5.). Zatem siła ciężkości ciągnie ciała na dół ku ziemi i nadaje im ruch w tym kierunku, jeśli jej żadna inna siła w tem nie przeszkadza.

Rozważmy to dokładniej. Weźmy *pion* [redacted] czyli nić obciążoną ciężarkiem i trzymajmy ją w ręku, jak pokazuje rys. 6. Nić wypręża się i przybiera kierunek linii prostej, którą nazywamy *linią pionową*. [redacted]. Powiadamy, że każdy przedmiot, puszczony [redacted] swobodnie (a zatem poddany działaniu samej tylko siły ciężkości) spada na dół w kierunku pionowym. [redacted]



Rys. 6.

Trudno jest wypuścić jakibądź przedmiot z ręki zupełnie swobodnie, nie popchnąć go przytem w żadnym bocznym kierunku. Urządźmy więc następujące doświadczenie. Wycinamy otwory w kilku kawałkach tektury (rys. 7.) takie, ażeby mogła przejść przez nie kulka *K* pionu. Jeśli pion, wisząc swobodnie, będzie przechodził przez środki otworów, wówczas będą one przypadały pionowo jeden pod drugim; musimy przedewszystkiem tak ustawić kawałki tektury. Wciągamy teraz kulkę ponad otwór najwyższy, umocowujemy część nitki w położeniu pochyłem i tę część przepalamy, dotykając w *A* płomieniem; wtedy kulka spada bez bocznego popchnięcia. Zobaczymy, że przejdzie przez wszystkie otwory. *Siła ciężkości* ma więc kierunek pionowy ku ziemi. –

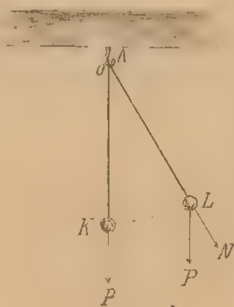


Rys. 7.

§ 15. Siła ciężkości w równowadze z innemi siłami.

Gdy zgięliśmy drzewko [redacted] i trzymamy je nachylone do ziemi, wtedy siła sprężystości drzewka równoważy się z siłą naszych mięśni. [redacted] drzewko w tem położeniu utrzymuje ciężar, zawieszony na niem (rys. 5), wtedy siła sprężystości drzewka równoważy się z siłą ciężkości.

W pionie, wiszącym spokojnie (rys. 6), nitka wypręża się prosto i pionowo pod działaniem siły ciężkości. Tu ciężkość kulki pionu równoważy się [redacted] z siłą naszych mięśni; pod działaniem bardzo znacznego ciężaru nitka [redacted] urywa, podobnie jak urywa się w ręku pod bardzo mocnem ciągnieniem. Drut metalowy ma większą wytrzymałość niż nitka. Drut taki, n. p. OK (rys. 8), zakończony kulką i zawieszony na haku A, zachowuje się podobnie jak pion. Wisi on spokojnie w położeniu pionowem OK, w każdem zaś innem położeniu, n. p. OL, zaczyna opadać ku OK. Przyczyna tego jest następująca. Drut może się obracać na haku; zatem drut sam przez się będzie w równowadze tylko pod działaniem takiej siły, któraby go ciągnęła w jego własnym kierunku. Gdyby n. p. w położeniu OL ciężkość kulki działała w kierunku LN, mielibyśmy tam równowagę; ale ciężkość działa tam w kierunku LP, a nie w kierunku LN, więc równowagi niema, drut porusza się ku położeniu OK. Natomiast w położeniu pionowem drutu OK ciężkość kulki, jako skierowana zawsze na dół pionowo, przypada we własnym kierunku drutu; dlatego w tem [redacted] położeniu jest równowaga. Przyrząd taki nazywa się *wahadłem*. [redacted]



Rys. 8.

§ 16. Środek ciężkości.

Weźmy drążek drewniany (rys. 9), wkręćmy w jego środku kółeczko C a na końcach uwiążmy jednakowe ciężarki G, G. Zawieśmy kółeczko na nitce lub na haczyku. Ująwszy nitkę lub haczyk, możemy trzymać drążek w równowadze t. j. tak, żeby się nie przechylał ani w jedną, ani w drugą stronę; możemy nawet, nie [redacted] równowadze, podnosić drążek ku górze. A zatem dwa równe ciężary, działające na końce drążka, równoważą się tutaj z siłą naszych mięśni, działającą na środek drążka. Dzięki drążkowi równoważymy lub podnosimy oba ciężary G, G tak, jak gdybyśmy bezpośrednio do nich przyłożyli naszą siłę. Możemy zastąpić te dwa ciężary G, G przez jeden dwa razy większy ciężar F, wiszący w pośrodku C drążka (rys. 10); wówczas potrzeba znów takiej samej siły H, jak poprzednio, ażeby zrównoważyć drążek lub podnieść go do góry. Podobnie cztery ciężary G, G, G, G, jak na rys. 11., możnaby zastąpić przez jeden cztery razy większy ciężar F, wiszący w pośrodku. Siły zatem czyli ciężary G składają się tutaj na siłę F, która się też nazywa ich *wypadkową* i która je może zastąpić. Podobnie będzie w sztabie MN (rys. 12); możemy wyobrazić sobie, że składa się ona z osobnych części, z któ-



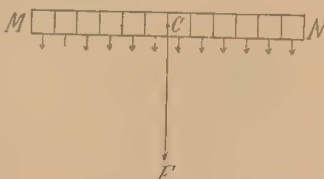
Rys. 9.



Rys. 10.



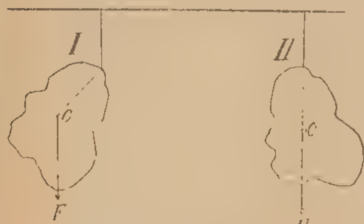
Rys. 11.



Rys. 12.

§ 17. Równowaga pod wpływem ciężkości — od wiersza — Nowy paragraf — 10.

rych każda ma swój ciężar; wszystkie te ciężary składają się na ciężar wypadkowy *F*, działający w punkcie *C*. Ów punkt *C*, w którym jak gdyby skupia się cały ciężar ciała, nazywa się *środkiem ciężkości*, [redacted]. Siła ciężkości działa na każde ciało tak, jak gdyby była przyłożona do jego środka ciężkości. Można n. p. trzymać sztabę *MN* (i podobnie pręt lub laskę n. p.) w położeniu poziomem w równowadze, podpierając ją jednym palcem w punkcie *C*, czyli w jej środku ciężkości. Jeśli ciało wisi na sznurku (rys. ~~17~~ 13.), nie może ono być w równowadze, gdy środek ciężkości nie znajduje się wprost pod nicią, w jej bezpośredniem przedłużeniu. W położeniu więc *I* ciało nie będzie w równowadze, podobnie jak ~~drut z kulką~~ wahadło nie było w równowadze w położeniu *OL* (rys. ~~16~~ 8.). Przeciwnie, w położeniu *II* ciało będzie w równowadze.



Rys. ~~17~~ 13.

Powiedzieliśmy, że cały ciężar ciała jest jak gdyby skupiony w jego środku ciężkości i działa [redacted] na ten środek na dół pionowo. Zatem: jeżeli linia pionowa, poprowadzona ze środka ciężkości, trafia w podstawę ciała, wtedy ciało *stoi* czyli jest w równowadze. Jeśli zaś ta linia trafia poza obręb [redacted] podstawy, ciało przewraca się, albowiem ciężar jego nie znajduje oporu, któryby go równoważył. Tak więc wóz na równej drodze jest w równowadze, lecz na pochyłości linia, wychodząca pionowo na dół ze środka ciężkości, zbliża się ku kołom. Na rys. ~~18~~ 14. widzimy położenie, w którem linia ta (CZ) przechodzi [redacted] właśnie przez koło: [redacted] jeszcze najmniejsze pochylenie a wóz musi się wywrócić. Dlaczego trudno jest postawić kij na stole? dlaczego pochylamy się na lewo lub wyciągamy lewą rękę, gdy niesiemy ciężar w prawej? dlaczego, żeby mocno i pewnie stanąć, rozstawiamy nogi jaknajszerzej? Łatwo odpowiedzieć [redacted] na mocy [redacted] tego, co powiedziano w artykule niniejszym.



Rys. ~~18~~ 14.

§ 18. ~~§ 17. § 20.~~ Zasada dźwigni.

Powróćmy jeszcze do drążka, o którym była mowa na początku ~~poprzedzającego artykułu~~. Gdybyśmy uwiązali na jednym jego końcu ciężar dwa razy większy niż na drugim, drążek, zawieszony w pośrodku, nie byłby już w równowadze; mocniej obciążony koniec przeważyłby t. j. przechyliłby się ku dołowi.

Trzeba wkręcić kółeczko bliżej ku mocniej obciążonemu końcowi; wówczas znowu zrównoważymy [redacted] jedną siłą oba ciężary. Niechaj np. ab (Rys. 15.) wyraża drążek, obciążony w b ciężarem dwa razy większym niż w a. Podzielmy odległość ab na trzy równe części: ad, dc, cb. Jeśli siłę H przyłożymy w [redacted] miejscu c, drążek będzie w równowadze.

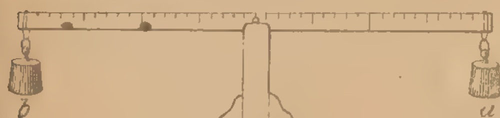


Rys. ~~16~~ 15.

[redacted] w ciele, składającem się z części [redacted], środek ciężkości musi przypadać stosunkowo dalej od lżejszych, a bliżej cięższych części. Jeśli laska ma ciężką gałkę, trzeba podpierać ją palcem bliżej gałki, a nie w środku, żeby utrzymać równowagę w położeniu poziomem. [redacted]

[redacted] Dźwignia.

Jak w § [redacted], weźmy drążek drewniany (rys. [redacted]), na końcach uwiążmy dwa jednakowe ciężarki *a*, *b*; lecz zamiast zawieszać go na nitce, utwierdźmy w nim w środku oś i tą osią połóżmy go na podstawce. Oba ciężary, działające na końce drążka, równoważą się teraz z oporem podstawki; [redacted] drążek będzie więc w równowadze, tak samo jak poprzednio [redacted]. Nazywamy podobny przyrząd *dźwignią* [redacted], a części jego od osi aż do punktu zawieszenia ciężaru *ramionami dźwigni* [redacted]. Zatem dźwignia, przedstawiona na rys. [redacted], jest *równoramienna* [redacted] Dźwignię widzimy na rys. [redacted]; składa się ona z deseczki, położonej na trójkątnej podstawce *O*. I ona [redacted] w równowadze, gdy jednakowe ciężarki *G*, *G* [redacted] na niej [redacted] w jednakowej odległości od podstawki. Powiadamy zatem: *do równowagi dźwigni równoramiennej potrzeba, ażeby ciężary jednakowe działały w odległości jednakowej od osi obrotu*, t. j. żeby działały na *ramiona jednakowe*.



Rys. [redacted]



Rys. [redacted]

Zawieśmy teraz na dźwigni (rys. [redacted]), lub połóżmy na dźwigni (rys. [redacted]) ciężary niejednakowe w odległości jednakowej od osi; równowagi nie będzie. Czego [redacted] potrzeba do równowagi, gdy ciężary są niejednakowe? [redacted] powiedzieliśmy w § [redacted] Weźmy [redacted] jakiś ciężar i inny ciężar, dwa razy większy. Z rys. 15. widzimy, że do równowagi dźwigni, na którą działają takie dwa ciężary, potrzeba, ażeby [redacted] oś obrotu była umieszczona dwa razy bliżej większego ciężaru; innemi słowy, potrzeba, *ażeby ciężar dwa razy większy działał na ramię dwa razy krótsze*. Gdyby jeden ciężar był trzy razy większy od drugiego, musiałby [redacted] dla równowagi działać na ramię trzy razy krótsze. Widzimy taką dźwignię na rys. [redacted]; *a* i *b* są to ciężarki jednakowe, *c* zaś waży tyle, ile *a* i *b* razem wzięte; [redacted] zatem ciężar *b* i *c* razem wzięty jest trzy razy



Rys. [redacted]

(Dlatego też mamy równowagę, gdy)

większy niż ciężar a; [redacted] ramię tego potrójnego ciężaru jest trzy razy krótsze od drugiego ramienia. Podobne doświadczenia łatwo/ możemy czynić na dźwigni z rys./ ~~22. Możemy powiedzieć ogólnie: do równowagi dźwigni dwuramiennej potrzeba, ażeby iloczyn liczb, wyrażających ciężar i długość ramienia, jednej przez drugą, był *jednakowy* z obu stron osi obrotu.~~

1?   12

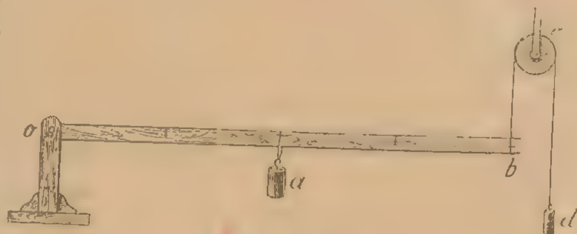
Mnóstwo przedmiotów codziennego użytku, mnóstwo narzędzi i przyrządów, używanych w rękodziełach, przemyśle i rolnictwie, stanowi/ zastosowania dźwigni. Drąg n. p., służący do/pod[redacted]ważania ciężarów, jest dźwignią; ramię czyli rękojeść studni, [redacted], różne rodzaje nożyc, obcęgi, [redacted], zwykła nawet łopata stanowią przykłady dźwigni. Belka każdej wagi jest dźwignią, jak również znany powszechnie przyrząd, zwany *przezmianem*. [redacted] Zwykłe wiejskie studnie (t. zw. żórawie) są zastosowaniem dźwigni; zastawy czyli barygery [redacted] rogatki są często dźwigniami.

/ przykłady lub

§ 20. Dźwignia jednoramienna.

\19./

Rysunek [redacted] wyobraża inny rodzaj dźwigni, t. zw. *jednoramienną*. Jeśli odległość od osi do miejsca zawieszenia ciężaru (a) wynosi, jak na rysunku, połowę odległości od osi do miejsca przyłożenia siły (b), potrzeba wówczas do równowagi, ażeby na b działała siła, dwa razy mniejsza od siły ciężkości, działającej na a. ~~Możemy to udowodnić, przymocowawszy u b nitkę, przerzuconą przez bloczek c i obciążoną ciężarkiem d; potrzeba wówczas do równowagi, ażeby a był dwa razy cięższy od d.~~



Rys. ~~21~~ 19.

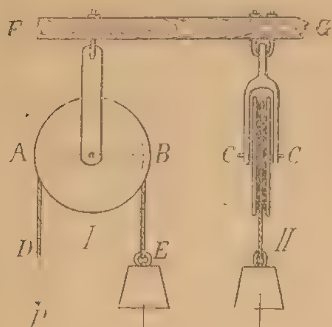
Jeśliby odległość oa była trzecią częścią odległości ob, do równowagi byłoby potrzeba, ażeby ~~ciężar a był trzy razy znaczniejszy od d i t. d. Wogóle zatem do równowagi dźwigni jednoramiennej potrzeba, ażeby obadwa iloczyny: liczby, wyrażającej ciężar przez liczbę, wyrażającą długość odpowiedniego ramienia, były równe sobie.~~ na b działała siła, trzy razy mniejsza od siły ciężkości, działającej na a i t. d.

Przykłady dźwigni jednoramiennej znajdujemy w wielu znanych przyrządach, jak n. p.: taczki, krajalnice (papieru, chleba i t. p.), maszyny, służące do wycinania lub wybijania otworów, narzędzia do ugniatania i wyciskania (korków, orzechów, cytryn i t. p.). Każdy miech jest zastosowaniem zasady dźwigni jednoramiennej. (również)

§ 21. ~~§ 23~~. Blok.

Przyrząd, zwany *blokiem*, ~~([illegible])~~ który często widzieć można w fabrykach, składach towarów, przy budowie domów i t. p., stanowi również zastosowanie zasady dźwigni, chociaż na pozór różni się zupełnie od dźwigni. Kółko *AB* (rys. ~~20~~ [11], I) osadzone na

osi C, ma na swym brzegu boczne wyżłobienie, przez które przerzucamy sznurek $DABE$. Oś kółka kręci się swobodnie w widełkowatej oprawie, jak to okazuje widok bloku, widzianego z boku, na rys. 20, II. Oprawę tę utwierdzamy nieruchomo, n. p. w belce poprzecznej FG. Uczepiwszy na jednym końcu sznura, n. p. E, dowolny ciężar Q, możemy podnosić go ku górze, jeśli będziemy ciągnęli drugi koniec D ku dołowi.

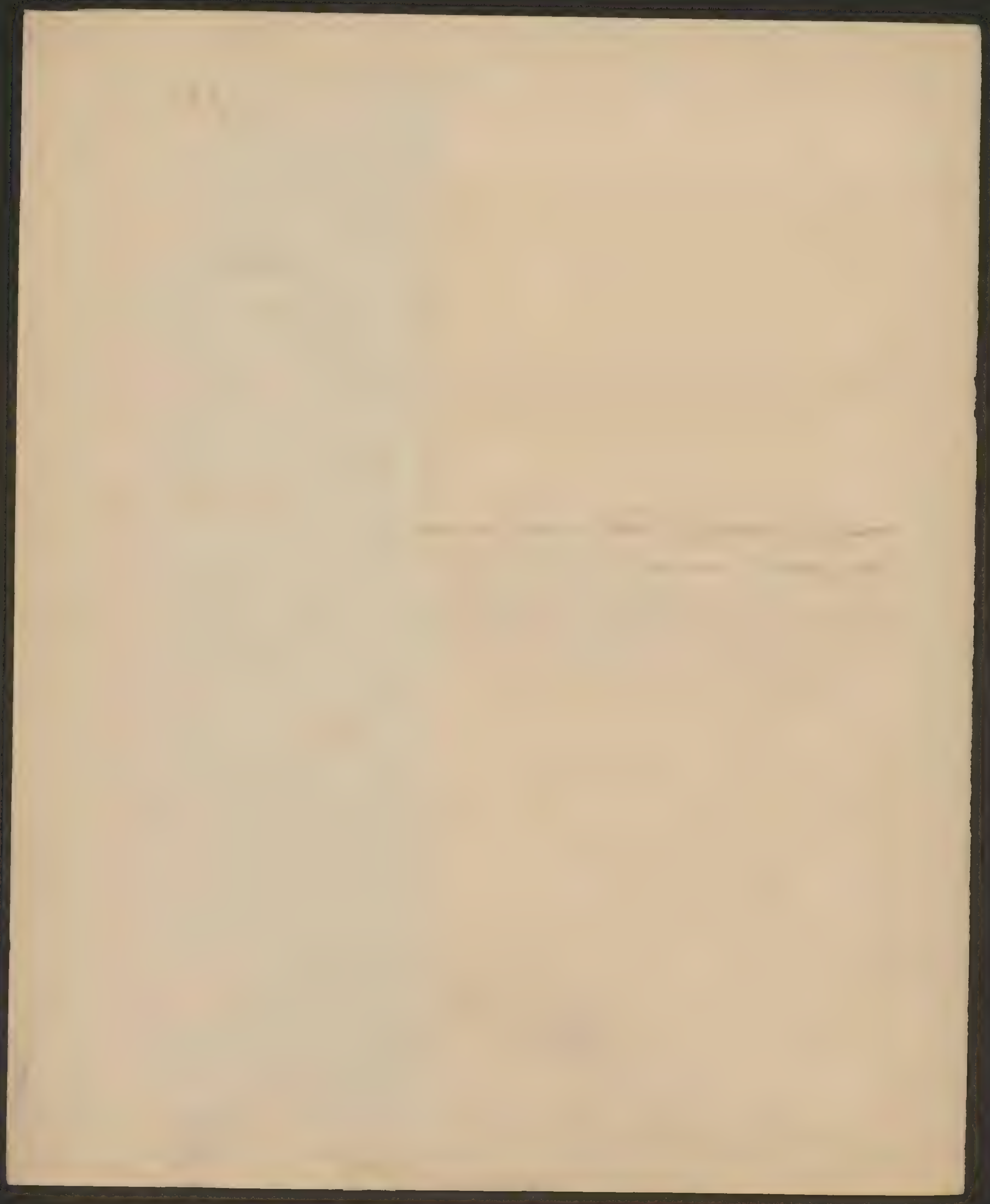


Rys. 20.

Wyobraźmy sobie w bloku linię AB, łączącą środek kółka C z miejscami A i B; pomiędzy temi miejscami A, B sznurek przylega do kółka, mianowicie do górnej połowy jego obwodu. Linia AB stanowi oczywiście dźwignię z osią obrotu w C, A zaś i B są miejscami przyłożenia sił: ciągnącej P i sprzeciwiającej się jej, Q. Podczas obrotu bloka coraz inne punkty kółka będą zajmowały położenia A i B; ale w każdej chwili te punkty, które przypadają właśnie na prostej AB, będą stanowiły taką dźwignię, istniejącą w naszej myśli, wszystkie zaś inne punkty kółka nie będą miały w tej chwili znaczenia. Mamy więc w bloku jakby dźwignię, mianowicie dwuramienną a nawet, jak łatwo widzimy, równoramienną. Zatem do równowagi bloku potrzeba, żeby siła ciągnąca P była równa sprzeciwiającej się Q.

§ 22. O pracy.

Gdy murarze budują dom, wówczas jedni wnoszą cegły, kamienie, wapno i t. d. na wysokość piętra, które jest w robocie; inni zapomocą lin wyciągają na tę wysokość belki. Taka czynność jest przykładem wykonywania *pracy*. Do zbudowania domu potrzeba cegieł, kamieni, wapna, piasku, drzewa i t. d., ale nadto potrzeba też *pracy*, potrzeba znacznej pracy; jeden człowiek n. p., bez niczyjej pomocy, musiałby pracować wiele lat, zanimby cały dom zbudował. Żeby zbudować dom, potrzeba wykonać pewną pracę; trzeba n. p. wnieść tyle a tyle cegieł na pierwsze piętro, tyle a tyle na drugie i t. d.; w żaden sposób tego dokonać nie można bez pracy. Żeby zbudować dom trzypiętrowy, trzeba znaczniejszej pracy, niż żeby zbudować dwupiętrowy. Widzimy zatem, że *praca* bywa większa i mniejsza; że pracę można mierzyć. Wnieść n. p. 20 cegieł na pierwsze piętro wymaga pracy dwa razy takiej, jak wnieść ich 10 na tosamo piętro. Wnieść 10 cegieł z dołu na pierwsze piętro, lub wnieść je z pierwszego piętra na drugie, wymaga pracy tejsamej, jeżeli piętra są jednakowo wysokie. A zatem wniesienie cegieł z dołu na drugie piętro wymaga wówczas dwa razy takiej pracy, jak wniesienie ich na pierwsze. Powiadamy: *podniesienie ciężaru o pewną wysokość wymaga pracy tem większej, im znaczniejszy jest ciężar i im większa wysokość, o jaką go podnosimy.*



§ 23. Praca a siła.

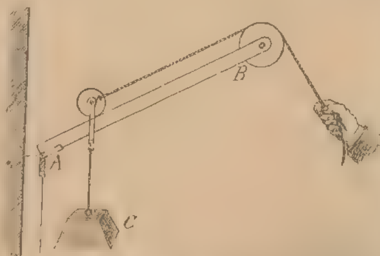
Przypuśćmy, że dwóch robotników (n. p. *A* i *B*) wnosi cegły na wysokość piętra; *A* i *B* mają każdy n. p. po 100 cegieł do wniesienia. Mają więc jednakową pracę do wykonania; ale *A* jest w stanie dźwignąć odrazu 20 cegieł, gdy *B* może tylko 10 dźwignąć odrazu. Wówczas *A*, żeby swoją pracę wykonać, wejdzie 5 razy na piętro, gdy tymczasem *B*, ażeby wykonać swoją, będzie musiał wejść 10 razy. Przypuśćmy, że piętro ma 4 metry wysokości; w takim razie *A*, licząc wprost w górę, odbędzie ogółem drogę 20 metrów, *B* zaś — drogę 40 metrów. A więc *siła, dwa razy mniejsza, ale pracująca przez drogę dwa razy dłuższą, wykonywa pracę tęsamą.* Zupełnie podobnie siła, trzy, cztery lub ilekolwiek razy słabsza, pracując na drodze tyleż razy dłuższej, wykonywa pracę tęsamą. ~~Wszystko to wynika, jak łatwo widzimy, z określenia, podanego dla miary pracy w początku niniejszego artykułu.~~

§ 24. ~~§ 25.~~ O energii.

Robotnik, który bierze na siebie 10 cegieł za każdym razem, gdy wchodzi na piętro, mógłby zapewne udźwignąć 12, gdyby się nieco wysilił, a nawet może 15 i więcej. Ale, podczas gdy mógł, biorąc po 10 cegieł, pójść z niemi do góry n. p. trzydzieści razy z rzędu, teraz, obarczony 15 cegłami odrazu, zmęczy się wcześniej. A zatem człowiek może wywrzeć chwilowo siłę większą lub mniejszą, ale pracę może wykonać tylko ograniczoną. W każdym z nas jest jakby pewien zasób pracy, z którego możemy czerpać, jakby pewien *zapas pracy,* który możemy wydawać; gdy wszystek wydamy, nie jesteśmy zdolni do dalszego wykonywania pracy, aż nowy zasób w nas się nagromadzi. Taki zasób pracy, gotowej do wydania, nazywamy *energią* ~~(energia).~~ Gdy ktoś pracuje, wydaje swoją energię, wydaje ją na wykonywanie pracy; jeśli nie pracuje, wtedy ~~przechowywa, co prawda, zasób swój nienaruszony,~~ nie wydaje energii, ale nie ma też z niej żadnego pożytku. Energia jest jakby bogactwem, którego wydatkiem jest praca.

§ 25. Praca przeciwko ciężkości.

Siła ciężkości działa w kierunku pionowym ku dołowi a zatem | sprzeciwia się podnoszeniu się ciał prosto do góry t. j. ruchowi ich pionowemu do góry. Dlatego też trzeba wykonywać pracę, ażeby podnosić ciała do góry. Spróbujmy teraz podnosić jakieś ciało nie ~~w~~prosto do góry, lecz w kierunku pochyłym. Ciężar *C* n. p. możemy (rys. 21.) przesuwać po pochyłym drążku *AB* za pośrednictwem sznurka i dwóch kółek, z których jedno toczy się po drążku, a drugie, osadzone na końcu, stanowi zwykły blok, opisany w § 21. Ustawmy drążek prawie zupełnie pionowo; ciągnienie | ciężaru do góry | będzie wymagało znacznego wysiłku. Nachylajmy drążek ku położeniu poziomemu; ciągnienie będzie wymagało coraz mniejszego



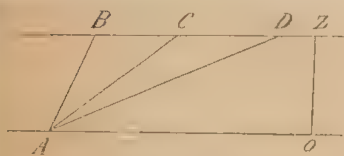
Rys. ~~28.~~ 21.

| wzrost

§ 21.

§ 21.

wysiłku, siła ciężkości będzie się coraz mniej sprzeciwiała ruchowi. Od wiersza Przypuśćmy np., że AO na rys. 22 wyobraża poziom podłogi w pokoju, BCDZ zaś poziom sufitu. Im większe jest nachylenie



Rys. ~~20~~ 22.

drogi (AB, AC, AD), tem mniejszy jest opór siły ciężkości — Zarazem jednakże, jak tutaj widzimy, tem dłuższą staje się droga do przebycia. Na rys. np. droga AC jest dłuższa niż AB, AD dłuższa niż AC. Wiemy zaś, że praca zależy zarazem od siły pracującej i od długości drogi, przez którą siła ta pracuje. Dlatego praca, potrzebna do podniesienia danego ciężaru po drodze pochyłej, nie jest zależna od nachylenia drogi; praca ta zależy tylko od wysokości istotnego podniesienia. Na rys. 22. wysokość istotnego podniesienia jest OZ, jednakowa dla wszystkich trzech dróg AB, AC, AD; to też praca, potrzebna do podniesienia jakiegobądź ciężaru po tych trzech drogach, jest jednakowa.

Na mocy tego, co powiedzieliśmy, pojmujemy ~~łatwo~~ pożytek t. zw. *równi pochyłej* czyli płaszczyzny nachylonej do poziomu, którą posługują się często robotnicy do wciągania ciężarów w górę lub, przeciwnie, do powolnego spuszczania ich ku dołowi. ~~Widzimy, że~~ Równia pochyła pozwala przezwyciężać ciężkość ciała siłą, mniejszą niż ta, jaka byłaby potrzebna do bezpośredniego, swobodnego ich podnoszenia. Ale zato droga do przebycia staje się odpowiednio dłuższa; ~~ostatecznie,~~ Oszczędności w pracy równia pochyła zatem ostatecznie nie daje.

§ 26. Tarcie.

Powiedzieliśmy, iż siła ciężkości nie sprzeciwia się poziomemu ruchowi; czemuż ~~tedy~~ tak trudno posunąć kamień po ziemi lub skrzynię po podłodze? Oto z powodu *tarcia* kamienia o ziemię, z powodu tarcia skrzyni o podłogę, nie z powodu ciężaru kamienia lub ciężaru skrzyni. Na całkiem inny opór natrafiamy, jeśli chcemy wóz *podnieść*, niż jeśli chcemy go *ciągnąć*. W pierwszym razie mamy do czynienia z *ciężarem* wozu, w drugim razie z *tarciem* kół o ziemię i osi o panewki. Kamień doznaje znacznego tarcia o sukno, mniejszego o szkło lub lód, tymczasem ciężar kamienia jest oczywiście zawsze taki sam, czy on ~~kamień~~ leży na suknie, na szkle, czy na lodzie.

Pokonywanie oporu, wynikającego z tarcia, wymaga więc pracy, podobnie jak jej wymaga przezwyciężanie działania siły ciężkości; ale z powyższego widzimy, że tarcie jest objawem zgoła różnym od działania siły ciężkości. (Od wiersza) Poznaliśmy dotychczas dwa przykłady wykonywania pracy: podnoszenie ciężarów, pokonywanie tarcia. Wiele innych przykładów wykonywania pracy poznamy niebawem.

16.

§ 27. Każda siła może pracować.

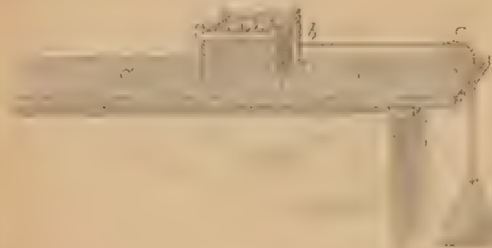
Kiedy człowiek [redacted] podnosi ciężar lub przezwycięża tarcie, możemy powiedzieć, że pracę tę wykonywa siła jego mięśni. Jak siła mięśni człowieka, podobnież każda inna siła może wykonywać pracę. Naprzykład/ siła ciężkości może/ pracować. Jeżeli n. p. ciężar *d*, opadając (rys. 23.), ⌈za pośrednictwem sznura, przerzuconego przez blok *c*, ~~ciągnie skrzynkę b po stole aa~~, wtedy siła ciężkości [redacted] wykonywa[redacted] pracę, która zużywa się na pokonanie tarcia. Jeżeli, jak na rys. 24., ciężar większy *B*, opadając, podnosi do góry ciężar mniejszy *A*, wtedy siła ciężkości, działająca na *B*, dostarcza pracy, potrzebnej do pokonania ciężkości ciała *A* a nadto jeszcze (i tej pracy) (dostarcza), jaką zużywa tarcie sznurka o blok i osi bloka o panewkę, w której się kręci.

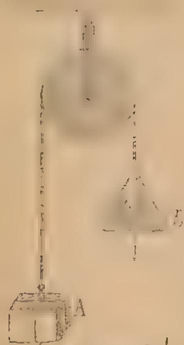
/sama

∟również

⌈ciągnie pudełko *b* po stole *aa*.

24.


Rys. 23.


Rys. 24.

Podobnie siła sprężystości [redacted] może wykonywać pracę. Gdy n. p. zgięte drzewko się wyprostowywa, może podnieść jakiś ciężar do góry lub przezwyciężyć jakieś tarcie; to samo może uczynić skręcona sprężyna, gdy się rozkręca. W zegarku kieszonkowym siła sprężystości dostarcza pracy, potrzebnej do pokonywania tarcia kółek i osi, w zegarze zaś ściennym, t. zw. wagowym, czyni to siła ciężkości.

Nowy §

§ 28. Sprężyna skręcona (ma energię), kamień podniesiony ma energię.

Sprężyna [redacted] skręcona jest każdej chwili gotowa do wykonania pracy; lecz żeby ją wykonać, musi się rozkręcać. Gdy całkowicie się rozkręci, nie może już (dostarczać) (dalej) pracy. N. p. zegarek nakręcony idzie przez pewien przeciąg czasu, później zatrzymuje się: sprężyna, która go poruszała, jest rozkręcona. A zatem skręcona sprężyna posiada jak gdyby pewien *zasób* pracy, gotowej do wydania; gdy go wyda [redacted], przestaje być zdolna do wykonywania pracy. Ten zasób pracy nazywamy *energią* skręconej sprężyny, podobnie jak energią człowieka nazywaliśmy zasób pracy, do której człowiek [redacted] jest zdolny. Powiadamy, że skręcona sprężyna *ma pewną energię*; gdy pracuje, wydatkuje z tej energii; [redacted] gdy ją wyda całą, jest wyczerpana, dalszej pracy dać [redacted] nie może.

Podobnie kamień lub inny jakikolwiek ciężar jest gotów do wykonania pracy, jeżeli może zejść niżej, niż się w danej chwili znajduje; ⌈żeby wykonywać pracę, kamień musi się obniżać. N. p. jeśli ciężar *d* (rys. 23.) obniży się aż do podłogi, nie będzie mógł dalej dostarczać pracy na pokonywanie tarcia. [redacted] Kamień podniesiony posiada/ pewien zasób pracy, gotowej do wydania, który też nazywamy *energią* kamienia. Kamień, który już nie może zejść niżej, wydał energię, [redacted]/ posiadał, podobnie jak wydała ją sprężyna rozkręcona.

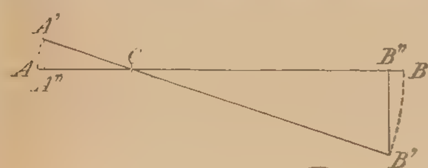
⌈albowiem,

⊤tmi

/ którą

§ 29. Praca nie tworzy się z niczego.

Różnymi sposobami możemy podnieść ciężar do góry. Możemy go podnosić wprost ręką, albo ciągnąć wzdłuż równi pochyłej (§ 26.); możemy go ciągnąć za pośrednictwem bloka (§ 21.), podnosić zapomocą dźwigni (§§ 20.) innymi jeszcze sposobami. Jakimkolwiek sposobem będziemy podnosili ciężar, *samo* podniesienie pewnego ciężaru o pewną wysokość zużyje pewną, określoną ilość pracy i *ani mniej, ani więcej*. W pewnych razach może odbywać się, oprócz podnoszenia, coś innego, co wymaga pracy dodatkowej, n. p. tarcie; z takiej dodatkowej pracy możemy cóś oszczędzić, ale z właściwej pracy samego podnoszenia niepodobna nic żadnym sposobem oszczędzić. Podnosząc ciężar, nie możemy wykonać mniej pracy i nie możemy wykonać jej *w tym celu* więcej; praca dodatkowa zostanie zawsze zużyta na coś innego, nie na samo podnoszenie. Naprzykład, jeśli oś bloka jest niewysmarowana, podnoszenie ciężaru będzie kosztowało wiele pracy; ale nadmiar pracy nie pójdzie na podnoszenie ciężaru, lecz na pokonanie znacznego tarcia. Jak wiadomo, określoną jakąś pracę może wykonać siła mniejsza i większa. Przy pomocy pewnych przyrządów można sprawić, żeby siła mniejsza wykonywała taką pracę, do jakiej bez ich pomocy byłaby potrzebna siła większa. Ale *żaden przyrząd sprawić nie może*, *choćby najmniejsza ilość pracy*. Żaden przyrząd nie wykona więcej pracy, niż mu jej dostarczymy. Oto co to znaczy. Na dźwigni można zrównoważyć duży ciężar małym ciężarem. Niechaj będzie ACB (rys. 25) dźwignią, C osią obrotu i niechaj $BC = 3\,AC$. W takim razie ciężar, wiszący w A, można zrównoważyć w B ciężarem trzy razy mniejszym; dodając jeszcze w B choćby najmniejszy ciężarek, można A *przeważyć* t. j. podnieść ciężar A do góry. *Małą więc siłą można, zapomocą dźwigni, pokonać znaczną siłę.* Ale, jeśli ciężar A jest trzy razy większy od B, musimy go zawiesić trzy razy bliżej osi obrotu. Zatem poruszenie się dźwigni podniosłoby A o wysokość trzy razy mniejszą, niż wysokość, o którą obniżyłoby B. Tak n. p. podniesienie się A' A'' jest trzecią częścią obniżenia się B'' B'. praca, zużywana w podnoszeniu (lub dostarczana nam w obniżaniu się ciężaru) zależy nie tylko od wielkości ciężaru, ale i od wysokości przebytej; widzimy, że dźwignia na podnoszenie A wydaje tyle pracy, ile jej dostarcza obniżanie się B. Dźwignia *nie daje żadnej oszczędności w pracy;* z powodu tarcia osi o panewkę musimy nawet w dźwignię włożyć nieco więcej pracy, niż ona nam zwróci.



Rys. 25.

§ 30. Praca nie ginie.

Żeby skręcić sprężynę, trzeba wykonać pracę; zate sprężyna, skoro jest skręcona, ma energię czyli sama może wykonać pracę. Zatem praca, którą wydaliśmy na skręcenie, nie zginęła, nie jest stracona; sprężyna skręcona może każdej chwili ją zwrócić. Podobnie, żeby podnieść kamień, trzeba wykonać pracę; ale praca ta nie zginęła, gdyż kamień podniesiony ma energię, więc może zwrócić pracę, którą wydaliśmy na podniesienie.

Przypuśćmy, że podnieśliśmy kamień o pewną wysokość i że następnie puściliśmy go swobodnie; kamień spada na dół ku ziemi. Na cóż została tu zużyta praca, którą wydaliśmy dla podniesienia kamienia? Została ona zużyta na przyśpieszanie ruchu ku ziemi. Zdjąwszy n. p. nieco ciężarków z szalki B na bloku (rys. 24.),

18.

sprawimy, że ciężar A pocznie opadać powoli; jeśli nagle wszystko zdejmiemy z B, A odrazu poleci na dół. Tu zatem praca, której dostarcza opuszczanie się ciała A, zużywała się najprzód na pokonywanie ciężkości B, a kiedy tego oporu zabrakło, obróciła się na wzmożenie ruchu samego spadającego ciała. Stąd widzimy, że *nadanie jakiemuś ciału pewnej prędkości jest także pracą*, wymaga także wykonania pracy. Żeby *rzucić* kamień w górę, trzeba wykonać pracę tak samo, jak żeby go w górę *wciągnąć* lub podnieść; tylko, gdy się go rzuca, wykonywa się pracę odrazu, gdy się go wciąga lub podnosi, wykonywa się ją powoli, stopniowo.

Tczyli

Widzimy dalej, że kamień, gdy został rzucony, nabył przez to pewnej *energii*. Kamień rzucony może naprzykład coś przewrócić, złamać lub potłuc; kula wystrzelona może przebić ścianę; tymczasem kamień lub kula, które leżą na ziemi, nie mogą uczynić nic podobnego. Młotek nie wciśnie gwoździa do deski samym swoim ciężarem; trzeba *uderzyć* młotkiem, żeby pokonać opór. Mówimy nieraz o ~~zamachu lub~~ *rozmachu* ciała, które się porusza; chcemy przez to powiedzieć, że (ciało) ma wówczas energię (ruchu). *Ciało, które się porusza, posiada pewną energię dzięki temu ruchowi.* ~~A zatem też *praca*, jaką musimy wykonać, ażeby ten ruch ciału nadać, *nie ginie*, nie jest stracona; ciało poruszające się może ją zwrócić, bo posiada energię,~~ energię ruchu.

/ wybić szybę,

T np. o rozmachu topora lub siekiery;

T Woda [illegible], pędząca wartkiem strumieniem, ma energię, której nie ma woda w sadzawce. Powietrze spokojne nie ma energii, którą ma wicher lub wiatr.

§ 31. Bezwładność.

Pojmujemy teraz, dlaczego ciała same przez się nie przechodzą nigdy ze spoczynku w ruch (§ 11). Albowiem, gdy ciało ~~się~~ porusza / się, ma energię ruchu, a tej energii nie może samo przez się wytworzyć ~~sobie~~; do wytworzenia energii potrzeba ~~bowiem~~ pracy a więc działania siły jakiejś z zewnątrz. Dalej, jeżeli ciało już jest w ruchu, a więc już posiada pewną energię ruchu, wówczas nie może samo przez się tej energii powiększyć a zatem ~~nie może~~ samo przez się ↑ nie może ~~poczęć~~ odrazu ⊥ zacząć poruszać się prędzej. Do tego potrzeba pracy, a więc działania siły zewnętrznej.

Jak samo przez się ciało nie może zwiększyć swej energii, tak też samo przez się nie może jej *zmniejszyć*. Ciało tylko wtedy traci na energii, kiedy wykonywa pracę, więc kiedy przezwycięża opór jakiejś siły zewnętrznej. ~~Każde~~ *Poruszające się ciało odbywa ruch swój bez zmiany, dopóki mu w tem obca siła nie przeszkodzi.* ~~Podobnież~~ *Spoczywające ciało zachowuje spoczynek swój bez zmiany, dopóki go do ruchu obca siła nie zmusi.* Takie zachowywanie się ciał nazywamy ich *bezwładnością*. ~~(bezwładnością)~~

Przykłady bezwładności spotykamy codziennie. Wyskakując z biegnącego powozu, czujemy, że ciało nasze dąży do zachowania ruchu. Gdy stoimy w biegnącym wagonie a pociąg nagle zwalnia, stopy nasze, oparte o podłogę, zwalniają swój bieg, ale reszta ciała przez bezwładność pochyla się naprzód. Wprost przeciwnie, jeśli stoimy w wagonie nieruchomym, a pociąg nagle ruszy, przechylamy się wstecz przez bezwładność. Z podobnego powodu gmachy i budynki pękają i rozpadają się na skutek trzęsienia ziemi; fundamenty poruszają się nagle, reszta zaś budowli trwa przez bezwładność w ~~swym~~ poprzednim spoczynku. Korzystamy z bezwładności, gdy strząsamy z drzewa dojrzałe owoce; przez bezwładność długi kij drewniany łamie nam się w ręku, gdy, trzymając ~~za~~ jeden koniec,

próbujemy nagle wywijać nim bardzo prędko. Jeżeli, znajdując się w wagonie, upuściliśmy pieniądz na podłogę, wówczas spadnie on do stóp naszych, bez względu na to, czy wagon biegnie, czy jest zatrzymany. To dowodzi, że moneta, nawet i wtedy, kiedy spada ~~przez~~ w powietrzu (kiedy przeto nic jej nie ciągnie ani nie popycha), zachowuje ruch, jaki miała, zanim została puszczona ~~(por. § 12),~~ ~~a mianowicie zachowuje go zarówno co do prędkości, jak co do kierunku~~. Płynąc czółnem, wyrzućmy piłkę pionowo do góry; nie wpadnie ona do wody poza czółnem, lecz wróci do rąk naszych. A zatem piłka podczas swej drogi w powietrzu zachowuje ~~co do prędkości i co do kierunku~~ ruch, jaki miała, zanim została wyrzucona do góry, t. j. ruch czółna.

19

swobodnie

/ mianowicie ruch wagonu.

~~Jeżeli~~ Wózek, popchnięty po drodze, zatrzymuje się; ~~jeżeli~~ rozkołysana huśtawka się uspakaja; ~~jeżeli~~ koło na osi, wprawione w obrót, powoli przestaje się kręcić. ~~dzieje się~~ to wszystko nie dlatego, ażeby te ciała nie miały bezwładności, lecz dlatego, że w swym ruchu muszą przezwyciężać tarcie (§ [illegible]); a do tego potrzebna jest praca, która ~~też~~ bierze się z energii poruszającego się ciała. To też po gładkiej posadzce kula toczy się dłużej, niż po suknie; po lodzie wózek potoczy się dalej, niż po ziemi. Rozpędzony wagon biegnie długo sam przez się po szynach; łyżwiarz sunie daleko po lodzie mocą samej bezwładności.

L. He — L się dzieje — // 26

§ 32. Masa.

~~Energia, jaką mają~~ Rozmaite ciała, gdy poruszają się z prędkością jednakową, ~~jest~~ bardzo rozmaitą. Gdyby n. p. główka młotka była zrobiona z drzewa lub z korka, uderzenie takiego młotka sprawiałoby oczywiście skutki nieporównanie mniejsze, niż uderzenie młotka o główce żelaznej. Żeby to wyrazić, powiadamy, że żelazna główka ma większą *masę*, niż drewniana lub korkowa; to znaczy, że, poruszając się z jednakową prędkością, ma *większą energię ruchu*. ~~Podobnie~~ Duży kawał żelaza ma masę większą niż mały kawałek żelaza; ciężkim dużym młotem można wbić gwóźdź w zbitą ścianę, bardzo lekko nim uderzając.

Γ mają ∂ energię.

Skoro ciało, ~~przy~~ pewnej prędkości, ma tem większą energię, im większą ma masę, tedy potrzeba tem znaczniejszej pracy, ażeby w niem tę prędkość wytworzyć. Popchnijmy jednakowo mocno po kolejce (jakie bywają po fabrykach i kopalniach) jeden wózek pusty, drugi naładowany; pusty potoczy się dalej, więc prędkość, jaką w nim wytworzyliśmy, była większa. Powodem tego była mniejsza jego masa. ~~Za~~ Istotnie, ~~[illegible]~~ znacznie

H obdarzone

trudniej jest powstrzymać w biegu wózek naładowany niż wózek pusty, jeśli rozpędzimy jednakowo jeden i drugi. Wózek naładowany ma większą masę, zatem większą energię ruchu przy jednakowej prędkości; ~~więc~~ nic dziwnego, że ~~[illegible]~~ tę jego większą energię ~~odebrać jest trudniej~~.

Γ trudniej ~~jest~~ jest odebrać mu

~~Masa ciała jest to więc pewna *własność* czyli *cecha* (właściwość) jego, wskazująca, jaką energię ruchu posiada to ciało, gdy porusza się z pewną prędkością; zarazem wskazująca,~~ jakiej potrzeba pracy, ażeby w niem tę prędkość wytworzyć.

Przypuśćmy, że jakieś ciało porusza się z pewną wiadomą prędkością. Znając masę ciała, będziemy wiedzieli, jaką energię ruchu posiada wówczas to ciało; zarazem,

§ 33. Masa a ciężar.

Powiedzieliśmy, że główka młotka żelazna ma większą *masę* niż drewniana lub korkowa; że duży kawał żelaza ma większą masę niż mały; że wózek naładowany ma większą masę niż pusty. Ale wiemy, że główka żelazna jest też ~~a~~ cięższa, czyli ma *ciężar* większy, niż drewniana lub korkowa; że duży kawał żelaza ma

ciężar większy, niż mały kawałek; że wózek naładowany ma ciężar większy, niż pusty. Pokazuje się więc, że *ciało, które ma większą masę* ~~(masa)~~ *ma też i większy ciężar.* ~~(masę)~~.

Lecz cóż to jest ciężar ciała? Wiemy, że jest to siła, z jaką ziemia ciągnie ciało ku sobie. Gdy ciało *spada* swobodnie, zbliża się ono ku ziemi pod działaniem tej właśnie siły. Wyobraźmy sobie, że n. p. główka młotka żelazna spada swobodnie i że jednocześnie główka drewniana też spada swobodnie. Zróbmy to doświadczenie; zobaczymy, że spadają one jednakowo prędko. Jeśli zaczęły spadać razem, to razem też dobiegają podłogi. Jakim sposobem tak się dzieje? Przecież na główkę żelazną działa siła większa, mianowicie większy jej ciężar? Tak jest; ale główka żelazna, która ma ciężar większy, ma też i masę większą. Większa masa *potrzebuje* właśnie działania większej siły, ażeby nabyć prędkości także samą. Wyobraźmy sobie [redacted], że na zupełnie gładkiej drodze albo na szynach stoją dwa wózki, jeden o masie dwa razy większej niż drugi. Jeśli popchniemy je jednakowo mocno, wózek masywniejszy potoczy się oczywiście z mniejszą prędkością. Ażeby obadwa wózki nabyły jednakowych prędkości, potrzeba dwa razy mocniej popchnąć wózek dwa razy masywniejszy, czyli przyłożyć [redacted] siłę dwa razy większą. Zupełnie podobnie mają się rzeczy ze spadającemi ciałami. Skoro ciała bardzo masywne i mniej masywne spadają jednakowo prędko, tedy widocznie na ciała masywniejsze działa siła przyciągania ziemi [redacted], na mniej masywne [redacted] mniejsza. Skoro masa [redacted] *A*, dwa razy większa od innej *B*, spada ~~dokładnie~~ tak samo, jak *B*, [redacted] widocznie siła przyciągania ziemi, działająca na *A*, czyli ciężar *A*, jest też dwa razy większa od ciężaru *B*. [redacted] *Wszystkie ciała, spadając swobodnie, nabywają prędkości jednakowych; jest to dowodem, że ciężary ciał są do siebie w stosunku takim, w jakim są masy tych ciał.*

Mogłoby się wydawać może, że nie wszystkie ciała nabywają prędkości jednakowych [redacted]; n. p. kamyk, moneta, kulka metalowa spadają widocznie prędzej, niż lekkie piórko lub skrawek papieru. Pamiętajmy jednak [redacted], że spadanie, jakie [redacted] zwyczajnie, *odbywa się w powietrzu;* [redacted] ciało, poruszające się w powietrzu, doznaje *oporu*. Powiewając [redacted] wachlarzem lub arkuszem tektury, czujemy opór powietrza. Trzeba uwolnić ciała spadające od tego oporu, ażeby podlegały jedynie działaniu siły ciężkości.

§ 34. W próżni wszystkie ciała spadają równie prędko.



Rys. [redacted] 26

W następującem doświadczeniu uwalniamy się od oporu powietrza. Z rury szklanej (rys. [redacted]), zaopatrzonej w kurek *B* (który można zaśrubować na talerzu pompy pneumatycznej, zob. rozdz. II.) wyciągnięto powietrze; trzymamy ją kurkiem do góry, tak że kulka metalowa i piórko (które włożono do rury przed jej zamknięciem) leżą przy końcu *A*. Przewracamy teraz rurę raptownie; widzimy, że kulka i piórko *spadają razem i jednocześnie dochodzą do spodu.* Otworzywszy kurek, wpuściwszy tym sposobem powietrze i powtarzając doświadczenie, przekonywamy się, że piórko przybiega później do spodu rury niż kulka. Dlaczego tak się dzieje? Dlaczego opór powietrza opóźnia bardziej spadanie piórka niż spadanie kulki? [redacted] Albowiem opór powietrza zależy od powierzchni ciała, [redacted] nie od jego masy. Piórko ma większą powierzchnię niż kulka, więc doznaje od powietrza większego oporu. Nadto, ponieważ masa piórka jest mniejsza, więc wpływ tego oporu na ruch piórka będzie większy.

Weźmy kawałek żelaza Z (rys. 27.) i kawałek drzewa D i zwiążmy je nitką. Kładziemy drzewo na żelazie (rys. 27. u góry) i puszczamy je swobodnie. Gdyby cięższe żelazo miało jakąkolwiek dążność do spadania prędszego, nicby mu nie przeszkadzało wyprzedzić drzewo, odłączyć się od niego, wyprężyć nitkę, jak na rys. 27. u dołu. Ale tego bynajmniej nie widzimy: oba ciała spadają razem i dobiegają ziemi razem. Przeciwnie, gdybyśmy ujęli D w rękę, pozwolili żelazu Z zawisnąć (jak na rys. 27. u dołu) i w tem położeniu ciała puścili, wówczas w tem samem położeniu dobiegają ziemi. To dowodzi, że kawałek drzewa nie ma żadnej dążności do spadania prędszego niż kawałek żelaza; obadwa ciała dążą do poruszania się z jednakową prędkością pod wpływem ciężkości.

|| 27

21

|| 27

|| 27



Rys. 27.

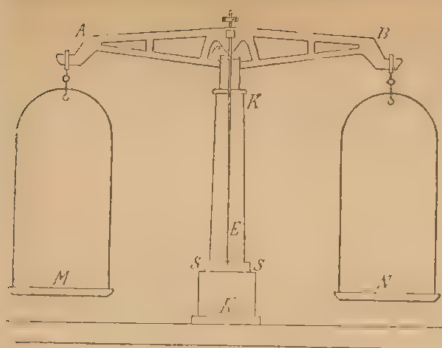
Powiadamy, że wszystkie ciała spadają jednakowo prędko pod działaniem samej tylko siły ciężkości.

§ 35. Jak spadają ciała pod wpływem ciężkości.

Gdy ciało spada swobodnie, pod działaniem ciężkości, nie porusza się jednostajnie, lecz biegnie coraz prędzej ku dołowi, innemi słowy: jego prędkość staje się coraz większa. Ruch ciała spadającego jest więc *przyśpieszony* podobnie jak ruch pociągu wyjeżdżającego ze stacyi (§ 9.). Istotnie, wiemy, że możemy zeskoczyć na podłogę z ławki lub krzesła bez szwanku, ale taki sam skok z wysokości szafy albo pieca mógłby być bardzo niebezpieczny. Wiemy także, że szklanki, talerze i podobne przedmioty ulegają tem pewniej stłuczeniu, z im większej wysokości zostały upuszczone. To wszystko wskazuje, że prędkość, z jaką ciało spadające dobiega ziemi, jest tem większa, im większa jest wysokość, z której ciało spada, czyli, im dłuższy czas, który upłynął od początku spadania. Znany jest powszechnie *kafar*, czyli przyrząd, służący do wbijania pali: zapomocą bloka, łańcucha, kół i korb robotnicy wciągają ciężar do góry, następnie zaś uwalniają go raptownie; ciężar spada i wbija pal w ziemię. Otóż skutki uderzenia w kafarze są tem znaczniejsze, z im większej wysokości ciężar zostanie puszczony. Skutki te zależą oczywiście od energii ruchu, jakiej ciężar nabywa, spadając; ponieważ zaś ta energia jest tem większa, im prędkość jest większa, więc tu znowu widzimy, że prędkość ruchu ciała spadającego rośnie coraz bardziej w miarę spadania.

§ 36. Mierzenie mas.

Powiedzieliśmy w § 34., że wszystkie ciała, lżejsze i cięższe, nabywają prędkości jednakowych (w czasach jednakowych) pod działaniem samej tylko siły ciężkości. To zaś, jak powiedzieliśmy w § 33., jest dowodem, że *masy większe mają też ciężary większe, mianowicie większe w tym samym stosunku*. Zatem, *żeby mierzyć masy, trzeba mierzyć ciężary ciał*. Do tego celu służy *waga*. Składa się ona



Rys. 28.

z belki AB (rys. 28), w której pośrodku mieści się na dół zwrócony trójkątny słupek czyli pryzmat C; tym pryzmatem belka spoczywa na podstawce K tak, iż ostrze pryzmatu stanowi oś, około której belka się waha. Belka dźwiga z dwóch stron szalki M, N; w pośrodku opatrzona jest we wskazówkę E; kołysanie się belki poznajemy po ruchu tej wskazówki przed podziałką SS. Waga taka działa zupełnie jak dźwignia równoramienna, ~~jaką~~ którą poznaliśmy w § 19. Dopóki szalki są puste, belka znajduje się w równowadze, gdyż szalki są jednakowo ciężkie. ~~(lub przynajmniej, w dobrej wadze, powinny być jednakowo ciężkie).~~ Skoro ~~naciśniemy~~ poruszymy łagodnie jedną szalkę, belka zaczyna się kołysać, ale się nie przewraca. Kiedy na jednej szalce, n. p. na prawej, leży ciało cięższe niż na drugiej, szalka prawa przeważa, wskazówka idzie na lewo. Ujmując albo dokładając ciężaru, doprowadzamy do tego, że wskazówka stoi nieruchomo w pośrodku skali lub też wychyla się w obie strony jednakowo daleko. Na szalkach leżą wówczas ciała, których ciężary są *równe*. W ten sposób porównywamy ciężary różnych ciał z ciężarem umyślnie przygotowanych [redacted] *ciężarków*; ciężar ich jest znany, t. j. porównany z jednostką ciężaru.

§ 37. Metryczna jednostka masy

Porównawszy ciężar danego ciała z ciężarem ciężarków, porównywany tem samem, jak [redacted] wiemy, [redacted] masę ciała ~~które ważymy,~~ z masą tego ciężarków a za ich pośrednictwem — z masą, obraną za jednostkę. Za jednostkę masy obrano *gram (g)* t. j. masę jednego centymetra sześciennego czystej wody. Dziesięć gramów nazywamy *dekagramem*, tysiąc gramów [redacted] *kilogramem*, tysiączną ~~zaś~~ część grama [redacted] *miligramem*. Zatem milimetr sześcienny wody ma masę miligrama, czyli waży miligram; litr (czyli decymetr sześcienny) wody waży kilogram, metr sześcienny wody waży tysiąc kilogramów.

Na rys. 29 widzimy kubek szklany *dzielony*: skala nacięta na szkle oznacza, że aż do kreski 10 n. p. mieści się w nim dziesięć gramów wody i t. d. Mając wagę i dokładne ciężarki, można przyrządzić taki kubek albo też sprawdzić rzetelność gotowego kubka. Można też i naodwrót, mając kubek dzielony, sporządzić gramowe ciężarki.

Rys. 29.

§ 38. Jednostka siły i jednostka pracy.

Jak jednostką długości, pola, objętości, czasu, ~~prędkości~~ jest pewna długość, pewne pole, pewna objętość, pewien okres czasu, ~~pewna prędkość~~, które raz na zawsze zostały wybrane (por. §§ 3, 4, 6.), jak jednostką masy jest pewna masa raz na zawsze obrana (mianowicie *gram*) podobnie jednostką siły musi być pewna określona i łatwa do odtworzenia *siła*, jednostką pracy musi być pewna określona i łatwa do odtworzenia *praca*. Za jednostkę siły przyjmuje się często *ciężar 1 grama*, albo też *ciężar 1 kilograma*; wiemy istotnie, że ciężar pewnego ciała jest to siła, z jaką ziemia przyciąga to ciało ~~ku sobie. Jednakże~~ Należy pamiętać, że wyraz *kilogram* oznacza właściwie pewną masę, mianowicie masę litra wody czystej (§ 37); jednostką siły nie jest więc właściwie

23

kilogram, lecz *ciężar jednego kilograma*.

Wyobraźmy sobie, że jakakolwiek, równa ciężarowi 1 kilograma siła pracuje na drodze, równej 1 metrowi; wykona ona wówczas pewną określoną pracę, którą nazwano *jednym kilogrammetrem*. Za jednostkę pracy obiera się często kilogrammetr. Widzimy odrazu, że dla *podniesienia* jednego kilograma o wysokość jednego

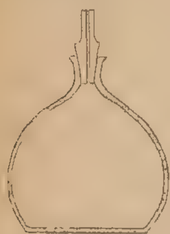
metra trzeba wykonać pracę jednego kilogrammetra. Przeciwnie, gdy jeden kilogram obniża się o wysokość jednego metra, dostarcza nam pracy równej jednemu kilogrammetrowi.

§ 39. ~~§ 38.~~ Gęstość.

Zróbmy sześciany, ~~równe~~ mające każdy po centymetrze ~~centymetrowi~~ sześciennym objętości. Zróbmy jeden z ołowiu, drugi z żelaza, trzeci ze szkła, czwarty z lodu, piąty z drzewa (n. p. jodłowego), szósty z korka. ~~Widzimy odrazu~~, że sześcian ołowiany jest najcięższy, a korkowy najlżejszy. Ale zapomocą wagi możemy poznać dokładniej, że:

sześcian	waży około		sześcian	waży około
ołowiany	11 gramów	—	z lodu	$\frac{9}{10}$ grama
żelazny	$7\frac{1}{2}$ „	—	z drzewa	$\frac{1}{2}$ „
szklany	$2\frac{1}{2}$ „	—	z korka	$\frac{1}{4}$ „

Gdyby można było zrobić z wody taką samą bryłkę, równą centymetrowi sześciennemu, ważyłaby ona jeden gram. Widzimy więc, że w pewnej objętości ołowiu, żelaza i szkła mieści się masa większa, niż w tej samej objętości wody; w pewnej objętości lodu, drzewa i korka mieści się masa mniejsza, niż w tej samej objętości wody. Mówi się, że ołów, żelazo i szkło są *gęstsze*, lód, drzewo i korek są *mniej gęste* niż woda. Gęstością ~~[illegible]~~ nazywamy liczbę gramów w centymetrze sześciennym. A zatem woda ma gęstość 1, ołów ma gęstość 11, żelazo $7\frac{1}{2}$, szkło $2\frac{1}{2}$, lód 0·9, drzewo jodłowe 0·5, korek 0·25. Miedź ma gęstość 9, metal *glin* (aluminium) ma gęstość 2·7 a więc, jak na metal, nieznaczną.

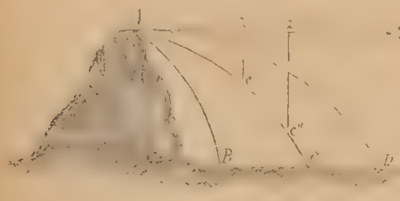


Rys. ~~14~~ 30.

Rtęć jest cieczą tak samo jak woda, ale ma gęstość bardzo znaczną, większą niż ołów. Zrównoważmy na szalkach wagi dwa kubki, ~~jak na rys. 43~~ podobne do tego, który widzimy na rys. 29. Jeśli do jednego wlejemy 10 centymetrów sześciennych rtęci, trzeba będzie wlać do drugiego 135 centymetrów sześciennych wody, żeby przywrócić równowagę. Zatem gęstość rtęci wynosi 13·5. Gęstość alkoholu (wyskoku) wynosi 0·8 a gęstość oliwy 0·9; zatem mniej niż gęstość wody. Mierzymy gęstość tych cieczy najlepiej zapomocą bańki szklanej (rys. 44.), którą ważymy najprzód pustą, później pełną wody (aż do jakiejś kreski w wydrążonym koreczku), pełną alkoholu, oliwy i t. d. Odejmując za każdym razem ciężar bańki pustej, znajdujemy ciężary wody, alkoholu, oliwy, które wypełniały tę samą objętość; dzieląc ciężar alkoholu lub oliwy przez ciężar wody, znajdujemy ~~[illegible]~~ gęstość alkoholu i oliwy.

§ 40. ~~§ 43.~~ Ruch ciała rzuconego.

Gdy puszczamy jakiekolwiek ciało swobodnie, biegnie ono na dół po linii pionowej. Lecz jak się ciało poruszy, gdy je rzucimy z pewną prędkością w jakimś bocznym kierunku? Będzie odbywało dwa ruchy jednocześnie (§ ~~12~~ 10); ten, który my ~~sami~~ nadaliśmy i ten, który wytwarza siła ciężkości. Przypuśćmy, że z wieży lub góry wystrzelono kulę armatnią w kierunku *AZ* (rys. ~~30~~ 31). Gdyby nie było ciężkości, kula pobiegłaby w kierunku *AZ* i przez bezwładność musiałaby biedz w tym kierunku coraz dalej



Rys. ~~30~~ 31.

i dalej. Ale siła ciężkości od pierwszej chwili pociąga kulę ku dołowi. Dlatego, zamiast do z n. p., kula dochodzi do c'; zamiast do z'', dochodzi do c'' i t. d.; jednem słowem odbywa drogę AC. Gdyby wystrzelono kulę z większą prędkością (n. p. zapomocą silniejszego naboju), zdążyłaby ona pobiedz dalej w stronę AZ, zanimby ciężkość zdołała pociągnąć ją [redacted] tyleż jak [redacted]przódy, ku dołowi; zatem w razie większej początkowej prędkości drogą kuli będzie n. p. AD. W razie mniejszej prędkości, przeciwnie, drogą jej będzie n. p. AB.

~~§ 44.~~ Bieg księżyca dokoła ziemi.

Wiemy, że ziemia nie jest płaska, lecz kulista; rozważmy więc jeszcze raz ruch kuli armatniej [redacted], pamiętając o tem. Na rys. [redacted] widzimy część ziemi $GEFL$. Gdyby ziemia była płaska, kula, wystrzelona z A, byłaby spadła, jak powiedzieliśmy, w C; istotnie więc spadnie nie w C, lecz w E. Wystrzelona silniej, spadnie nie w D, lecz w F. Widzimy, że powierzchnia ziemi GL

Rys. [redacted]

obniża się coraz bardziej pod poziom linii GJ [redacted], jak linie AE i AF obniżają się pod poziom AZ; tylko, że linie AE i AF obniżają się ~~prędzej~~, więc ~~dochodzą~~ do powierzchni ziemi GL. Możemy [redacted] *pomyśleć*, że wystrzelono kulę z wierzchołka A z taką prędkością, że pobiegnie ona po drodze AK, t. j. po drodze, która obniża się zupełnie tak samo pod poziom AZ, jak GL obniża się pod poziom GJ. Możemy wyobrazić sobie, że wystrzelono kulę z taką prędkością; środki dotychczas znane nie wystarczają na to, ażeby to rzeczywiście wykonać; ~~Wyobraźmy sobie jednak~~, że wynaleziono sposób wyrzucania pocisków, potężniejszy niż ~~dzisiejsze~~ armaty; [redacted] wystrzelono kulę z wierzchołka A z tak znaczną prędkością, iż biegnie ona po drodze AK. Wówczas kula, chociaż ciągle spada, nie zbliża się do ziemi; o ile bowiem kula zniża się pod działaniem ciężkości, o tyleż zniża się powierzchnia samej ziemi wskutek swej kulistości. Co zatem stanie się z kulą? okrąży ziemię i powróci do A ze strony przeciwnej. Gdyby w któremś miejscu tej drogi, n. p. w A, siła ciężkości nagle działać przestała, kula pobiegłaby ~~dzięki~~ bezwładności po linii takiej, jak AZ w miejscu A, czyli po t. zw. *stycznej;* ale [redacted] być nie może, [redacted] siła ciężkości jest czynna ciągle, bez przerwy. Więc działanie ciężkości polega na tem, że zakrzywia ona ustawicznie drogę kuli i tym sposobem nie pozwala jej odbiedz od ziemi; [redacted] bezwładność kuli krążącej nie pozwala jej uledz ciężkości i upaść na ziemię.

Wiemy, że siła ciężkości działa na najwyższych górach i w największych wysokościach, do jakich wzniesiono się balonami. Księżyc znajduje się jeszcze znacznie wyżej nad nami, znacznie dalej od ziemi; ale niewątpliwie i w księżycowej odległości ciężkość jeszcze jest czynna. ~~Teraz~~ rozumiemy, dlaczego księżyc obiega wciąż ziemię dokoła, ani nie spadając na nią, ani nie odbiegając od niej. [redacted] *księżyc krąży tak, jak [redacted] kula, która pobiegła po drodze AK.* [redacted] ta sama siła przyciągania ziemi, która nadaje ciałom ciężar, która wypręża pion i zmusza upuszczone jabłko do spadania, ta sama siła nie pozwala księżycowi odbiedz po linii ~~takiej~~ (jak AZ w miejscu A na rys. [redacted]); [redacted] ustawicznie zakrzywia [redacted] drogę i zmusza go tym sposobem do krążenia dokoła ziemi.

Jak powiedzieliśmy w § 33., [redacted] im większą masę ma jakie ciało, tem też większy ma ciężar, ~~a mianowicie większy w tym samym stosunku~~. Ponieważ [redacted] ciężar ciała jest to siła przyciągą-

gania, jaką ziemia wywiera na to ciało, więc powiadamy: siła przyciągania ciała przez ziemię jest tem większa, im większa jest masa ciała, ~~mianowicie większa w tym samym stosunku jak masa.~~

tego

25

§ 42. ~~§ 46.~~ Ciążenie powszechne.

Jak księżyc dokoła ziemi, podobnie krąży ziemia dokoła słońca. Utrzymuje się w odległości 149 milionów kilometrów od słońca i obiega w ciągu roku koło, zakreślone tak ogromnym promieniem; ~~ziemia nasza w ciągu sekundy przebiega~~ blizko 30 kilometrów ~~(dokładniej 29.6)~~. Ziemię, ożywioną tak znaczną prędkością, utrzymuje na wodzy przyciąganie słońca; albowiem przyciąganie działa pomiędzy słońcem a ziemią, podobnie jak pomiędzy ziemią a księżycem. Bryła słoneczna swem przyciąganiem utrzymuje na wodzy nie tylko ziemię, lecz również i inne ciała niebieskie, które widujemy nocą jako świetne gwiazdy i które nazywamy *planetami*. Słońce przyciąga ziemię i planety, ustawicznie zakrzywia ich drogi i zmusza je tym sposobem do krążenia dokoła siebie, po drogach (kołowych mniej więcej).

Dokoła niektórych planet biegną księżyce, podobnie jak dokoła naszej ziemi; planety przyciągają swoje księżyce, podobnie jak ziemia przyciąga księżyc, jak słońce przyciąga ziemię i planety. Co więcej: i księżyc przyciąga ziemię; i ziemia przyciąga słońce; i planety przyciągają słońce i są przyciągane przez swoje księżyce. ***Przyciąganie pomiędzy ciałami jest zawsze obustronne, wzajemne***; dlatego nazywamy je także *ciążeniem*. ~~[illegible]~~ Ziemia więc przyciąga kamień i kamień przyciąga ziemię; przyciąganie z obu stron jest ~~dokładnie~~ jednakowe; ~~ponieważ zależy zarazem od masy ziemi i od masy kamienia~~; ale ta sama siła nadaje ciału prędkość tem mniejszą, im masa tego ciała jest większa (§ 32.). Owóż masa ziemi jest miliony milionów razy większa, niż masa kamienia; dlatego, gdy oba ciała poczynają spadać ku sobie, bieg ziemi ku kamieniowi jest miliony milionów razy powolniejszy, niż bieg kamienia ku ziemi. Powiadamy ~~[illegible]~~, że przyciąganie pomiędzy dwoma ciałami jest zawsze obustronne, wzajemne; jest to ~~zaczte~~ tylko przykład na ogólną zasadę (§ 12.), że z wszelkiem ***działaniem***, z istnieniem wszelkiej wogóle siły, połączone jest ***przeciwdziałanie***, czyli istnienie siły równie znacznej, ale skierowanej wprost przeciwnie.

Pomiędzy wszystkiemi bez wyjątku ciałami na świecie istnieje takie wzajemne ciążenie. Wiemy, że ziemia przyciąga ku sobie kulę pionu; otóż kulę taką przyciąga ku sobie i góra, tylko słabiej niż ziemia, gdyż masa góry jest znacznie mniejsza niż masa ziemi. To też w pobliżu góry pion nie wisi dokładnie pionowo, lecz odchyla się ku niej nieznacznie. (w dalszym ciągu)

Wyobraźmy sobie dwa kilogramy *A*, *B*, położone niedaleko siebie. Możemy być pewni, że one się przyciągają wzajemnie. Lecz siła ta jest nieznaczna, tak że odczuć jej ~~n. p. mięśniami, ugoł~~ nie możemy. Uczonym udało się wykazać ~~bezpośrednio~~ (a nawet i zmierzyć) przyciąganie pomiędzy dwoma kilogramami, zapomocą nadzwyczaj czułych przyrządów. Możemy łatwo zrozumieć, że to przyciąganie jest ~~musi być~~ bardzo słabe. Weźmy kilogram *A* w rękę; ciężar jego, który czujemy, jest przyciąganiem, czynnem pomiędzy kilogramem *A* a ziemią. Przyciąganie pomiędzy tym kilogramem *A* a drugim *B* jest oczywiście tyle razy mniejsze od ciężaru *A*, ile razy masa kilograma *B* jest mniejsza od masy ziemi; a zatem jest wiele milionów razy słabsze od ciężaru A.

Ziemia nasza — mniej więcej
zatem odbywa tę drogę z prędkością (3 na sekundę).
niektóre
Znowu
swój
nawzajem
Nawiasem
Jest ono tem większe, im większe są masy ciał, ciążących ku sobie.
bezpośrednio
czy

Powiedzieliśmy, że między wszystkiemi bez wyjątku ciałami działa ciążenie wzajemne. Wody mórz i oceanów, naprzykład, są przyciągane przez słońce i księżyc i to przyciąganie jest przyczyną zjawiska, zwanego <u>przypływem i odpływem</u>. Morze wznosi się i zalewa ląd, jeśli wybrzeże jest płaskie; trwa to mniej więcej 6 godzin. Przez 6 godzin następnych morze opada i cofa się z wybrzeża, poczem wydarza się nowy przypływ i znów odpływ, każdy około 6 godzin trwający. I tak, dzień i noc, przypływ i odpływ następują po sobie.

Ciążenie ciał jest zatem <u>powszechne</u>; ono rządzi ruchami na niebie i ziemi. Odkrył to uczony, nazwiskiem <u>Newton</u> (czyt. Niuton), który żył w Anglii lat temu dwieście. Tem odkryciem zasłużył na cześć całej ludzkości.

ROZDZIAŁ DRUGI.

O ciałach stałych, ciekłych i gazowych.

§ ~~47.~~ 43. Objętość a postać.

Każde ciało ma pewną *postać*. [redacted] Cegła n. p. ma postać *prostopadłościanu* [redacted], świeca i ołówek — postać walca, lejek ma postać stożka. *Postać* jest to własność zupełnie inna niż *objętość* (§ 1.). Dwa sześciany n. p. lub dwa stożki na rys. ~~32.~~ 33. są ciałami jednakowej postaci, lecz niejednakowej objętości. Dwa walce na rys. ~~34.~~ 34. mają ~~przeciwnie~~ jednakową objętość, postać zaś niejednakową. Wogóle dwa ciała *różnej* i niepodobnej postaci mogą mieć objętość *jednakową*. Weźmy naczynie *A*, opatrzone w wypływ boczny *B*, rys. 35.; napełnijmy je wodą, a kiedy wypływ przez *B* ustanie, wprowadźmy ciało *C* i zbierzmy w *D* wodę, którą *C* wyparło. Ciało *C* ma tyle centymetrów sześciennych objętości, ile gramów waży woda zebrana (§ ~~3.~~ 7.). Jakakolwiek jest postać ciała *C*, objętość jego będzie taka sama, jak objętość wody w *D*. Jeśli kamień, ręka, roślina wypierają jednakową ilość wody, mają objętość jednakową, równą objętości wody wypartej.



Rys. ~~32.~~ 33.

Rys. ~~34.~~ 34.



Rys. ~~35.~~ 35.

Przeciwnie,

zgodnie do wody

§ ~~48.~~ 44. Ciała stałe i ciekłe.

Kawałek drzewa leży na stole; ma on pewną postać, n. p. jest długim i cienkim prostopadłościanem. Jeśli go położymy na boku, postawimy pionowo lub wstawimy do szklanki, *nie zmieni postaci*, pozostanie takim prostopadłościanem jak przedtem. Podobnie zachowują się kawałek żelaza, kawałek szkła, kawałek kauczuku. Każdy ma własną postać i zachowuje ją ~~bez względu na ciała, przy których lub na których się znajduje~~. Nazywamy dlatego kawałek drzewa ciałem *stałem* [redacted]; kawałek żelaza, szkła, kauczuku jest podobnie ciałem stałem. Zupełnie inaczej zachowuje się *woda*. Woda nie ma wcale własnej postaci; nie można powiedzieć: »kawałek wody«. Nalana do szklanki, woda przybiera postać jej wnętrza; przelana do karafki, przybiera postać wnętrza karafki (rys. ~~36~~ 36). *Woda zmienia postać z wszelką łatwością.*

w zwykłych warunkach, bez zmiany widocznej.



Rys. ~~36.~~ 36.

Przypatrzmy się postaci wody w jakiemkolwiek naczyniu. Wszędzie, gdzie styka się ze ścianą naczynia, woda przylega do ściany i przyjmuje jej postać; lecz od góry, na powierzchni swobodnej, gdzie styka się z powietrzem, woda układa się *płasko i poziomo*. [redacted] Jeśli przechylimy naczynie, woda zmieni postać, ale w taki sposób (rys. 37.), że powierzchnia jej pozostanie płaska

i pozioma. Woda jest przykładem *ciała ciekłego* czyli *cieczy*. [redacted]



Rys. 37.

Prócz wody jest jeszcze wiele innych cieczy. [redacted] Cieczą jest miód; i miód także wypełnia całkowicie dolną część szklanki a na powierzchni układa się płasko i poziomo. Zatem, dopóki jest w spoczynku, miód zachowuje się podobnie jak woda; gdy jest w ruchu, zachowuje się pod pewnym względem inaczej. Przechylając szklankę z miodem, widzimy, że zmienia on postać *powolniej* niż woda, bardziej opieszale, jak gdyby przezwyciężał jaką przeszkodę. Można dojrzeć przytem, przez bardzo krótką chwilę, powierzchnię cieczy w położeniu pochyłem, czego w wodzie dostrzedz niepodobna. Tak samo jak miód zachowuje się olej, syrop, gliceryna. Przybierają one *ostatecznie* kształt naczynia i rozlewają się poziomo i płasko; dlatego nazywamy je *cieczami*. Ale czynią to opieszale, zużywają na to stosunkowo wiele czasu; dlatego nazywamy je cieczami *lepkiemi* [redacted]. Inaczej mówimy, że są to ciecze mało *ruchliwe*, [redacted] gdy przeciwnie woda, alkohol, eter [redacted] są to ciecze bardzo ruchliwe.

§ 45. Ściśliwość cieczy.

Woda zmienia postać z wszelką łatwością; [redacted] objętość zmienia, przeciwnie, z największą trudnością. Gdy wkładamy palec do wody, ustępuje ona łatwo, lecz podnosi się zaraz dokoła, tak iż zachowuje [redacted] objętość. Spróbujmy przeszkodzić wodzie w jej dążności do zachowywania objętości bez zmiany. Weźmy (rys. 38) walec z tłokiem szczelnie przystającym i próbujmy tłok wcisnąć do wody. Nie zdołamy popchnąć tłoka ani o milimetr ku dołowi, jeśli woda nie przeciśnie się pomiędzy tłokiem a ścianą naczynia. Tu bowiem usiłujemy zmienić już nie postać, lecz objętość wody, mianowicie usiłujemy objętość tę zmniejszyć czyli wodę *ścisnąć;* to zaś wymagałoby siły, której człowiek wywrzeć nie może.

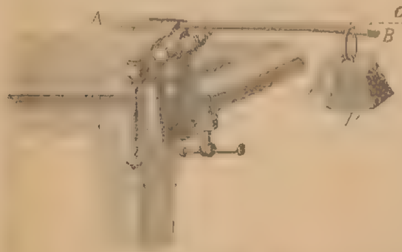


Rys. 38.

Woda jest więc bardzo trudno ściśliwa czyli bardzo *mało ściśliwa*. [redacted] Uczeni przekonali się dokładnie, o ile woda jest ściśliwa. Przypuśćmy, że walec (rys. 38.) ma 10 cm^2 w przecięciu i zawiera wody 10 *cm* wysoko; należałoby wówczas położyć na tłok 2000 *kg*, ażeby posunąć go o 1 *mm* ku dołowi. Oczywista, że (z powodu tarcia pomiędzy tłokiem a ściankami walca i z innych powodów) doświadczenie to w tak prosty sposób nie może być wykonane; przytaczamy je tylko dla unaocznienia małej ściśliwości wody.

§ 46. Sprężystość ciał stałych.

Pręcik drewniany posiada własną postać [redacted], ale pod działaniem *siły* może ją zmienić. Jednym końcem [redacted] umocowany w śrubsztaku czyli imadle (rys. 39.) a obciążony na drugim, pręcik wygina się pod działaniem siły ciężkości. Ponieważ jednak w pewnem położeniu *AB* pręcik jest w równowadze t. j. nie wygina się dalej, musiała więc zjawić się w nim siła, która równoważy ciężkość ciała *P*, *siła sprężystości* [redacted] pręta, znana [redacted]. W pręcie niewygiętym *AC* nie [redacted] tej siły; pojawia się ona dopiero w pręcie zginanym i staje się coraz większa, im bardziej go zginamy. Jeśli uwolnimy pręt od działania siły [redacted], siła sprężystości przywraca go do zwykłej postaci (jeśli wy-



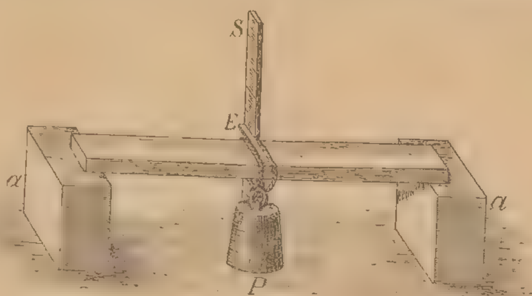
Rys. 39.

gięcie nie było zbyt znaczne); ale też w miarę powracania do tej postaci sama coraz bardziej słabnie i niknie.

Doświadczamy podobnie sprężystości pręta stalowego albo pałeczki szklanej; wyginane na końcu albo zginane w pośrodku, okazują one także sprężystość. Taśma kauczukowa wyciągana; piłka, ściskana w dłoni; sprężyna / stalowa skręcana również okazują sprężystość. Cóż wogóle czynimy, gdy ciała wyginamy, zginamy, wyciągamy, ściskamy, skręcamy? Zmieniamy wogóle postać tych ciał. Zatem powiadamy: sprężystość ciał stałych występuje na jaw ~~już~~ wówczas, gdy zmieniamy postać tych ciał, choćbyśmy nie zmieniali przytem ich objętości. *Ciała stałe mają sprężystość postaci.*

§ 47. Różne ciała są rozmaicie sprężyste.

Weźmy cztery *sztabki* czyli pręciki *prostopadłościenne* [illegible] kształtu dokładnie jednakowego: niechaj pierwszy będzie n. p. stalowy, drugi — mosiężny, trzeci ~~n. p.~~ szklany, czwarty — drewniany. W pośrodku każdego pręcika przytwierdzamy wskazówkę E (rys. 40.), do której zbliżamy skalę S; kładziemy pręciki końcami na podstawkach aa i obciążamy w pośrodku ciężarami P. Zobaczymy, że pręciki sprzeciwiają się wyginaniu bardzo rozmaicie. Przypuśćmy,



Rys. 40.

że pręcik drewniany wygiął się n. p. o 4 przedziałki na skali pod działaniem ciężaru 1 kg; ażeby o tyleż wygiąć pozostałe pręciki, musimy zawiesić przeszło 5 kg na szklanym, przeszło 8 kg na mosiężnym i prawie 18 kg na stalowym. A zatem siła sprężystości, która ~~jaka~~ objawia się w pręcikach wobec ~~przy~~ jednakowego wygięcia, jest bardzo rozmaita. Mówi się też: stal jest bardzo sprężysta, drzewo jest znacznie mniej sprężyste.

§ 48. Granica sprężystości.

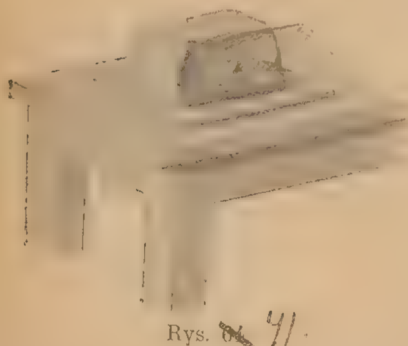
Jeżeli obciążymy pręcik stalowy w sposób, opisany w artykule poprzednim, a następnie ciężar zdejmiemy, pręcik *odegnie się* t. j. powróci do swej pierwotnej postaci i nie będzie widocznego śladu, że był wygięty. Pręcik ołowiany zachowuje się inaczej. Jeśli go mocno wygniemy, nie okazuje dążności do przybrania pierwotnej postaci, zachowuje swą nową wygiętą postać *trwale* ~~(nazawsze)~~ t. j. nawet po uwolnieniu od siły ~~obcego~~ działania / wyginającej. Ale ~~podobna~~ różnica pomiędzy zachowaniem się stali a ołowiu ~~nie jest stałą, i~~ zależy tylko od natężenia siły gięcej wyginającej ~~wielkości działającego ciężaru~~. ~~Gdybyśmy~~ Przypuśćmy, że wygięliśmy pręcik ołowiany bardzo słabo, zapomocą bardzo nieznacznego ciężaru; ~~przekonalibyśmy się, że~~ wówczas powraca on, po uwolnieniu, do pierwotnej postaci, objawia zatem sprężystość tak samo jak stalowy. Z drugiej strony, ~~gdybyśmy~~ wygięlibyśmy pręcik stalowy działaniem nadzwyczajnie znacznego, olbrzymiego ciężaru; wówczas i stalowy wygiąłby się *trwale*, utraciłby sprężystość, podobnie jak przedtem ~~wprzódy~~ ołowiany. Mówimy więc, że *każde ciało jest sprężyste tylko do pewnej granicy;* ta granica jest daleka dla stali a niedaleka dla ołowiu. Każde ciało, często albo długotrwale gięte, wyginane, wyciągane, skręcane, powoli traci sprężystość, czego przykłady spotykamy często w życiu codziennem.

§ 49. Sprężystość ciał ciekłych.

Przypuśćmy teraz, że położyliśmy 2000 *kg* na tłok przyrządu z rys. 38., § 45.; wskutek tego tłok obniżył się o 1 *mm*, woda ścisnęła się więc o jedną setną część swej objętości pierwotnej. Dalej tłok nie poruszy się ani o najmniejszą część milimetra; woda stawia teraz opór, który równoważy ciężar 2000 *kg*. Powiadamy zatem, że w wodzie ściskanej pojawiła się siła, która sprzeciwia się dalszemu ściskaniu; pod działaniem tej siły z jednej strony a ciężaru z drugiej, tłok znajduje się w równowadze. Gdybyśmy nagle zdjęli ciężar, tłok poszedłby do góry, odepchnięty przez wodę, która wróciłaby do dawnej objętości. A zatem mieliśmy tutaj w wodzie siłę, podobną do sprężystości w drzewie, w szkle, kauczuku lub stali. Lecz, gdy w ciałach stałych objawia się ona przy zmianach *postaci*, w wodzie objawia się przy zmianach *objętości*. Możemy więc powiedzieć: *woda ma sprężystość objętości*.

Podobnie jak woda, zachowują się inne ciecze. Sprężystość objętości jest ogólną cechą ciał ciekłych. Jak wiemy, ciała ciekłe nie stawiają trwałego oporu zmianie postaci: prędzej czy później każda ciecz (§ 11.) poddaje się działaniu siły, dążącej do zmiany jej postaci. A zatem *ciecze mają sprężystość objętości, lecz nie mają trwałej sprężystości postaci.*

§ 50. Ciśnienie.



Rys. 41.

Deseczka, leżąca na stole i dźwigająca ciężar na sobie (n. p. kamień, jak na rys. 41.) jest *przyciśnięta* do stołu, wywiera *ciśnienie* na powierzchnię stołu. Ciśnieniem nazywamy więc siłę, działającą na powierzchnię ciała. W przykładzie powyższym ciśnienie sprawia siła ciężkości; takie ciśnienie działa z góry na dół pionowo, ponieważ siła ciężkości działa w tym kierunku. Lecz inne siły mogą również sprawiać ciśnienie, n. p. siła naszych mięśni, siła sprężystości; te siły mogą sprawiać ciśnienie i w innych kierunkach. Przyciskając n. p. deseczkę do ściany ręką, czy bezpośrednio, czy za pośrednictwem n. p. pręta (rys. 42.), wywieramy na ścianę ciśnienie w kierunku poziomym.



Rys. 42.

Połóżmy ten sam kamień (rys. 41.) raz na deseczkę, mającą 100 cm^2 pola, drugi raz na deseczkę, mającą 200 cm^2 pola. Ta sama siła rozpościera się w pierwszym razie na 100, w drugim razie na 200 cm^2. Zatem na 1 cm^2 wypadnie w pierwszym razie dwa razy więcej siły, niż w drugim. Widzimy zatem, że trzeba odróżniać siłę całkowitą, czyli *ciśnienie całkowite* na pewną powierzchnię, od *ciśnienia na jednostkę pola*, czyli od ciśnienia *jednostkowego*. Ciśnienie całkowite jest na obu deseczkach jednakowe, mianowicie równe ciężarowi kamienia. Ciśnienie jednostkowe jest dwa razy większe na mniejszej deseczce niż na większej. Ten sam ciężar na deseczkach, mających 50 cm^2 lub 25 cm^2 pola, dałby ciśnienie jednostkowe cztery lub ośm razy większe.

Każda bardzo cienka tafelka krajem (swym brzegiem) czyli wchodzi stosunkowo łatwo w ciała stałe. Możemy to wytłomaczyć według poprzedzających objaśnień. Brzeg tafelki jest to powierzchnia o bardzo małem polu, więc siła naszych mięśni wytwarza na nim łatwo znaczne ciśnienie. Podobnie

możemy wytłomaczyć, przynajmniej po części, działanie noża i nożyczek, działanie piły, dłuta, igły, gwoździa.

§ 51. Ciśnienie cieczy.

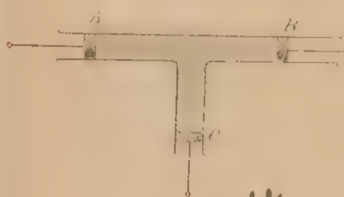
Jak za pośrednictwem pręta, można wywrzeć ciśnienie podobnie można je wywrzeć za pośrednictwem wody. Weźmy rurkę AB (rys. 43), pełną wody, i zamkniętą tłokami, które przystają szczelnie do rurki, lecz łatwo mogą się w niej poruszać. Opieramy tłok *A* o deseczkę z rys. 42. i wywieramy siłę na drugi tłok *B*; wówczas przyciskamy deseczkę do ściany za pośrednictwem wody. *Zatem woda może przenosić ciśnienie.* Tutaj ciśnienie wody nie ma nic wspólnego z ciężarem; ciśnienie działa poziomo, jeśli rurka leży poziomo, gdy tymczasem siła ciężkości działa na dół pionowo. Jakim sposobem woda przenosi ciśnienie? Zważmy, iż unieruchomiliśmy tłok *A*, oparłszy go przez deseczkę o ścianę; zatem, usiłując wepchnąć tłok *B*, usiłujemy tem samem ścisnąć wodę, zmniejszyć jej objętość, jak w § 45. Nic dziwnego, że woda opiera się temu; woda ma sprężystość objętości (§ 49.). Sprężystość wody opiera się naszemu działaniu na *B* a zarazem za pośrednictwem *A* sprawia ciśnienie na deseczkę i ścianę.



Rys. 43.

§ 52. Ciecze roznoszą ciśnienie.

Weźmy teraz drugą rurkę, jaką rys. 44. przedstawia w położeniu *poziomem*, tak właśnie, jak gdyby rurka leżała na papierze. Opatrzona jest ona w boczne kolanko a w niem w tłok trzeci *C*, co do rozległości równy dwóm pierwszym. Umocujmy tłok *A*, tłokowi *C* pozwólmy poruszać się swobodnie i wciskajmy *B*; co się stanie? Woda będzie ustępowała przed *B* i będzie pchała przed sobą tłok *C*; albowiem w ten sposób będzie ona zmieniała *postać* tylko a nie *objętość* a temu woda nie sprzeciwia się (§ 44). Przeciwnie, gdybyśmy umocowali i *C*, woda cisnęłaby nań tak samo, jak ciśnie na *A*. Zatem *i w bok woda przenosi ciśnienie*. Na ściany rurki woda oczywiście ciśnie tak samo jak na tłoki, mianowicie, rozpycha rurkę o tyle, o ile na to pozwala sprężystość szkła czy innego materyału, z którego rurka jest zrobiona. Powiadamy więc, że woda nie tylko *przenosi* ale i *roznosi ciśnienie* na wszystkie strony. To samo czynią wszystkie ciecze.



Rys. 44.

§ 53. Ciecz może wykonywać pracę.

Weźmy jeszcze jedną rurkę, opatrzoną w dwa poziome kolana i w cztery tłoki *A*, *B*, *C*, *D* jednakowo rozległe; rys. 45. przedstawia ją widzianą z góry. Co powiedzieliśmy o tłoku *C*, stosuje się także do czwartego tłoka *D*. A zatem, gdy wywieramy ciśnienie na *B* (rys. 45.), takież ciśnienie wywierane jest na *A*, na *C* i na *D*. Z jednego ciśnienia powstają więc tutaj



Rys. 45.

trzy ciśnienia. Tego możemy dokonać zapomocą wody i tłoków, podobnie jak zapomocą dźwigni możemy podnieść do góry trzy kilogramy siłą ciężaru jednego kilograma (§ 11.). Ale czego *nie możemy* dokonać zapomocą dźwigni, to *stworzyć* choćby najmniejszą ilość pracy z niczego (§ 29.); i tego zapomocą wody i tłoków także dokonać *nie możemy*. Istotnie: ~~wiemy,~~ od czego zależy praca, jaką wykonywamy pchając tłok, lub jaką tłok wykonywa pchając coś przed sobą? Jak wszelka wogóle praca, zależy ona zarazem od siły, która pcha (t. j. od całkowitego ciśnienia na tłok) i od długości drogi, którą tłok przebywa. Weźmy ~~teraz~~ trzy rurki: rurkę z dwoma tłokami *AB* (rys. 43.), z trzema *ABC* (rys. 44.) oraz z czterema *ABCD* (rys. 45.); przypuśćmy, że w każdej wepchnęliśmy tłok *B* o 1 *cm*, dawszy swobodę ruchu wszystkim pozostałym. W rurce *AB* (rys. 43.) sam tylko tłok *A* będzie cisnął i ~~też~~ wysunie się na zewnątrz o centymetr; w rurce *ABC* (rys. 44.) każdy z dwóch tłoków *A*, *C* będzie cisnął i każdy wysunie się o pół centymetra, w rurce zaś *ABCD* (rys. 45.) każdy z trzech tłoków *A*, *C*, *D* będzie wywierał ciśnienie, lecz każdy wysunie się tylko o trzecią część centymetra. Zatem, im więcej tłoków, tem więcej ciśnień, ale tem krótsze drogi, które tłoki przebywają; pomnażając liczbę tłoków, *nie zyskujemy* więc bynajmniej *na pracy*, *rozdrabniamy* ją tylko.

§ 54. Prasa hydrauliczna.

W rurce *ABC* (rys. 44.) tłoki *A* i *C* doznają każdy takiego ciśnienia, jakie wywieramy na *B*. Tak jest bez względu na to, czy *A* i *C* znajdują się daleko od siebie czy też blizko siebie. Zatem *tak będzie i wtedy*, kiedy je *połączymy* ze sobą i utworzymy z nich jeden tłok, dwa razy większy. Powiadamy więc: na tłok dwa razy większy niż *B*, działa ciśnienie *całkowite* dwa razy większe niż na *B*. Podobnie na tłok o polu trzy razy większem działa ciśnienie *całkowite* trzy razy większe. Innemi słowy: ciśnienie *na jednostkę pola* jest wszędzie w cieczy *jednakowe*.

Na tej zasadzie budowane bywają *prasy hydrauliczne* ~~(prasy rispar...)~~, których zadaniem jest zamiana niezbyt znacznych całkowitych ciśnień, jakie może wywrzeć człowiek, na ciśnienia całkowite bardzo znaczne. Wyobraźmy sobie dwa walce, połączone ze sobą i w nich dwa tłoki, jak na rys. 46. Przypuśćmy, że tłok *A* ma pole 25 razy większe niż tłok *B*; w takim razie, położywszy na tłoku *A* 25 *kg*, dość będzie położyć na *B* 1 *kg*, ażeby osiągnąć równowagę. Tu zatem ciężarem, małoco większym nad 1 *kg*, możemy podnieść do góry 25 *kg*, podobnie jak na dźwigni (§ 29.); ale i tu nie zyskamy na *pracy*, gdyż trzeba będzie wcisnąć tłok *B* na dół o 25 *cm*, ażeby podnieść *A* do góry o 1 *cm*.



Rys. 46.

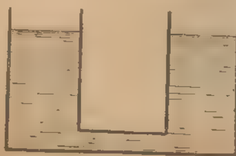
Widzimy zatem, że prasa hydrauliczna ma tensam cel jak inne maszyny, opisane w rozdziale pierwszym, mianowicie ~~zamianę pewnych danych postaci pracy na inne dogodniejsze postaci; że~~ zamianę pracy, którą rozporządzamy, na innego rodzaju pracę, która nam jest dogodniejsza; ale do osiągnięcia przytem jakiegoś zysku *nie* ma ona na celu ~~/rozporządzenia/~~ pracy i tego na celu mieć nie może, albowiem to jest wogóle niemożliwe (zob. §§ 29.) ~~i 37.)~~.

§ 55. Naczynia połączone.

Do naczynia z wodą wprowadźmy ściankę, nie dotykając nią dna (rys 47.); powierzchnia wody nie zmieni się przez to. Lecz przez wprowadzenie ścianki rozdzieliliśmy poprzednie naczynie na dwa mniejsze naczynia, połączone ze sobą od spodu; istotnie: teraz istotnie naczynie z rys. 47. nie różni się ~~tu właściwie~~ od naczyń, połą-



Rys. 47.



Rys. 48.

cących się przez przewód czyli kanał, jakie wyobraża rys. 48. Powiadamy zatem: we wszelkich wogóle naczyniach połączonych poziomy cieczy stoją jednakowo wysoko; wówczas ciecz jest w równowadze. Przytem jest zupełnie obojętną rzeczą, czy te naczynia są jednakowego



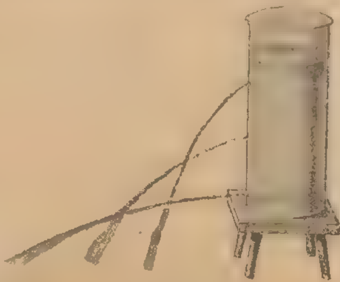
Rys. ~~73~~ 49

czy różnego przecięcia; ciecz stoi w nich zawsze na jednakowym poziomie, jak też stać będzie w naczyniu, rys. ~~70~~ 47, choćbyśmy posunęli ściankę ku brzegowi. ~~Tak n. p.~~ W dwóch rurkach szklanych (rys. ~~71~~ 49.), z których jedna jest szersza od drugiej (łączymy je zapomocą korka i rurki kauczukowej, jak pokazuje rysunek), woda stoi jednakowo wysoko. Zniżając węższą rurkę, zobaczymy, że woda tryska z niej do góry; na tej zasadzie działają wodotryski a także urządzenia wodociągowe w miastach.

Do rurek połączonych (rys. 49.) nalejmy rtęci: stanie w nich jednakowo wysoko. Nalejmy 10 *gr* wody nad rtęć w rurce węższej; jeśli rurka szersza ma n. p. 5 razy większą średnicę, więc 25 razy większe poprzeczne przecięcie, będziemy musieli nalać do niej, nad rtęć, 250 *gr* wody, ażeby przywrócić równość rtęciowych poziomów. W ten sposób zbudowaliśmy przyrząd podobny, jak na rys. 69.: rtęć gra ~~tu~~ rolę cieczy a woda nad rtęcią działa tutaj tak, jak tam ciężary, położone na tłokach.

§ ~~50~~ 56. Im głębiej w cieczy, tem większe ciśnienie.

Gdybyśmy ustawili stos cegieł, leżących jedna na drugiej, wówczas każda cegła dźwigałaby na sobie wszystkie nad nią leżące zatem byłaby przyciśnięta ciężarem tem większym, im położona jest niżej, im dalej od wierzchu. W naczyniu z wodą dzieje się podobnie. Każda warstwa wody dźwiga na sobie warstwy, nad nią leżące, więc jest przyciśnięta ciężarem tem większym, im niżej jest położona w cieczy, im dalej od powierzchni. Ciśnienie tego ciężaru, jak wszelkiego ciężaru, jest z góry na dół pionowe; ale warstwa, która doznaje tego ciśnienia, nie tylko *przenosi* je na dół, lecz i *roznosi na wszystkie strony,* rozprowadza i wywiera je we wszystkich kierunkach; albowiem ciecze czynią tak zawsze (§ 44.). Powiadamy zatem: *ciśnienie w cieczy wynika z jej ciężkości; dlatego też, im głębiej w cieczy, tem jest większe. Ciśnienie to, chociaż wynika z ciężkości cieczy, działa nie tylko na dół pionowo, lecz zarówno we wszystkich kierunkach.* Możemy to dostrzedz odrazu w doświadczeniu, którego urządzenie jest widoczne z rys. 50. To doświadczenie uczy, po pierwsze, że woda ciśnie nie tylko na dół, ale także i w bok; powtóre, że ciśnie tem znaczniej, im dalej od powierzchni. Istotnie, strumień z dolnego otworu dobiega dalej, niż strumień z górnego; stąd wnosimy, ~~według § 43~~, że wypchnęła go siła znaczniejsza, podobnie jak w § 40. kula wystrzelona dobiegała tem dalej (zob. rys. 31), im większa siła zmuszała ją do ruchu.



Rys. ~~78~~ ~~49~~ 50

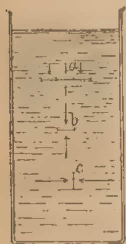
§ 57. Jak wzrasta ciśnienie w cieczy, w miarę zanurzania się.



Rys. 51.

Weźmy rurkę szklaną, zgiętą w dwa nierówne ramiona (rys. 51.); nalejmy do niej rtęci i wprowadźmy pod wodę, nie zanurzając otworu dłuższego ramienia. Zobaczymy, że rtęć podnosi się w prawem, dłuższem ramieniu; a mianowicie: gdy poziom lewy jest zanurzony o 13·5 *cm* pod powierzchnię wody, różnica poziomów rtęci jest równa 1 *cm*. Jeśli zanurzymy poziom lewy o 27 *cm* pod powierzchnię, różnica poziomów podwoi się i wyniesie 2 cm. Jeśli zanurzymy rurkę trzy razy głębiej, różnica poziomów wyniesie 3 cm. W taki sposób wzrasta ciśnienie w cieczy, w miarę zanurzania się do niej.

Żeby to dobrze zrozumieć, wyobraźmy sobie (rys. 52.) naczynie pełne wody, jakby przecięte płaszczyzną pionową. Pomyślmy w niem centymetr kwadratowy *a*, leżący poziomo, n. p. o 3 *cm* pod powierzchnią. Aż do tej powierzchni stanęłyby więc na nim trzy sześciany, z których każdy miałby objętość 1 cm^3, ważyłby przeto 1 gram. A zatem na kwadracik *a* działa od góry ciśnienie ciężaru 3 gramów. Ale takież ciśnienie działa na sąsiednie kwadraciki, leżące obok *a* na tymsamym poziomie, bo i one także znajdują się o 3 *cm* od powierzchni; to ciśnienie na kwadraciki sąsiednie przenosi się pod *a*, działa na *a* pionowo do góry (§ 55., § 54.) i równoważy się tam z pierwszem ciśnieniem, które działało pionowo ku dołowi. Weźmy takisam kwadracik *b*, równy także 1 cm^2, lecz głębiej, n. p. o 6 *cm* od powierzchni położony. Jeśli *c* leży poziomo, działa nań ciśnienie 9 gramów od góry i także ciśnienie od dołu. Łatwo rozumiemy teraz doświadczenie poprzednie (rys. 51.)

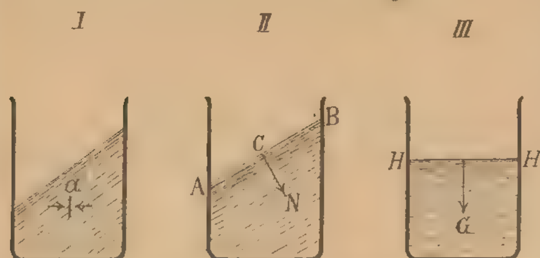


Rys. 52.

Powróćmy jeszcze do tego doświadczenia. Dlaczego poziomy rtęci oddalają się od siebie właśnie o 1 *cm*, ile razy poziom w krótszem ramieniu oddalimy o 13·5 *cm* od powierzchni wody? Dlatego, że różnica w słupach rtęci ma równoważyć słup wody, zaczynający się od poziomu rtęci w krótszem ramieniu i sięgający powierzchni; rtęć zaś, jak wiadomo (§ 39.), jest 13·5 razy gęstsza od wody, czyli 13·5 razy cięższa od niej w jednakowej objętości.

§ 58. O powierzchni cieczy.

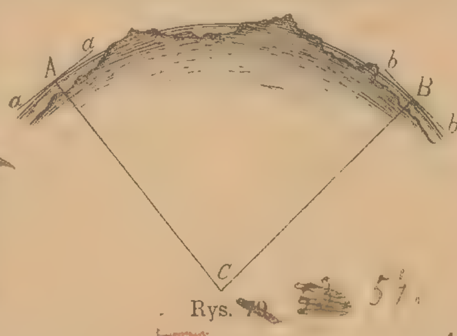
Jak wiemy, woda w szklance ma powierzchnię poziomą, kiedy jest w spoczynku. Istotnie, wyobraźmy sobie wodę w położeniu takiem, jakie przedstawia rys. 78., I. Łatwo zrozumieć, że woda nie może *trwać* w takiem położeniu. Wyobraźmy sobie n. p. stojący pionowo w wodzie kwadracik *a*; na rys. 78., I widzimy go z boku. Woda po prawej stronie kwadracika *a* znajduje się *dalej* od powierzchni niż woda po lewej, zatem z prawej strony *a* woda ciśnie silniej niż z lewej (por. § [illegible].), więc nie może zostać w tem położeniu; zupełnie podobnie, jak wahadło na rys. 8., § [illegible]., nie może zostać w położeniu *OL*. Woda popłynie ze strony prawej na lewą, jak wahadło poruszy się od *L* do *K*. Gdyby ciężkość kulki wahadła w położeniu *OL* działała w kierunku *LN*, mielibyśmy równowagę w tem położeniu. Podobnie, gdyby ciężkość działała w kierunku *CN* (rys. 78., II), mielibyśmy równowagę wody w położeniu *AB*. Ale tak nie jest; ciężkość działa *zawsze na dół pionowo*. Widzimy więc, że woda może być w równowadze jedynie w położeniu *HH* (rys. 78., III.), w którem jej swobodna powierzchnia ułożyła się *prostopadle* do kierunku *G* działania siły ciężkości.



Rys. 78. 53.

§ 59. O powierzchni mórz i oceanów.

W szklance powierzchnia wody jest płaska i pozioma; lecz powierzchnia mórz i oceanów na ziemi jaki ma kształt? Wiemy, że ziemia ma kształt kuli; że wody mórz i oceanów pokrywają znaczną część jej powierzchni (jak to wyobraża rys. 79., na którym głębokość mórz i oceanów oraz wyniosłość lądów jest oczywiście znacznie przesadzona). A zatem powierzchnia wód w morzach i oceanach jest *wypukła*, mianowicie *kulista*. Łatwo to zrozumieć na mocy poprzedzającego. Wiemy, że siła ciężkości w każdem miejscu powierzchni ziemi ma kierunek promienia ziemskiego w tem miejscu; w miejscu *A* n. p. (rys. 79.) działa wzdłuż *AC*, w miejscu *B* wzdłuż *BC*. Poziomem wody więc w miejscu *A* musi być, według poprzedzającego, kierunek *aa*, prostopadły do *AC*; w miejscu *B* kierunek *bb*, prostopadły do *BC* i t. d. Owóż obwód koła, *AB* n. p., nie jest niczem innem, jak zbiorowiskiem podobnych niezmiernie krótkich linii, jak *aa*, *bb* i t. d., prostopadłych do promieni *CA*, *CB* i t. d. Powierzchnia mórz i oceanów jest więc wypukła i kulista dlatego, że układa się wszędzie prostopadle do kierunku działania ciężkości.

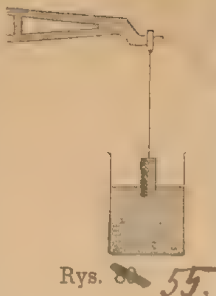


Rys. 79. 54.

§ 60. Ciecz usiłuje wyprzeć ciało zanurzone.

Zawieśmy na wadze walec (rys. 80.) i zrównoważmy go ciężarkami po drugiej stronie. Zanurzając walec do wody, zobaczymy,

że ciężarki przeważają, jak gdyby walec stracił na ciężarze. Jakim sposobem tak się dzieje? Przypomnijmy sobie (§ 45.), że kiedy walec wkracza do wody, woda podnosi się dokoła w naczyniu. A zatem walec, obniżając się w wodzie, musi podnieść pewną ilość wody do góry; dlatego ciężar walca musi przezwyciężyć ciężar wody podnoszonej. Zupełnie podobnie, gdy na bloku, na dźwigni albo na wadze większy ciężar przeważa inny mniejszy, wówczas go wprawdzie przeważa, ale sam przez to traci tyle, ile ma do zwalczenia. N. p. jeśli 3 kilogramy, obniżając się, muszą podnosić jeden kilogram po drugiej stronie dźwigni lub wagi, wówczas działają



Rys. 55.

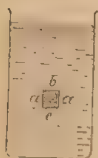
tak, jak gdyby były ważyły tylko dwa kilogramy. Taksamo walec, ważący n. p. 75 gramów, jeśli, obniżając się, musi podnieść n. p. 10 gramów wody do góry, działa na wagę tak, jak gdyby ważył tylko 65 gramów.

Zapytujemy teraz: gdy walec zanurza się, ile wody musi podnieść do góry dokoła? Oczywiście tyle centymetrów sześciennych, ile ich zanurza do wody ze swej własnej objętości. Więc mamy takie prawidło: ciało, zanurzone do wody, traci pozornie na ciężarze; mianowicie, traci tyle gramów, ile centymetrów sześciennych z jego objętości zanurzyło się w wodzie. Prawidło to nazywa się zasadą Archimedesa. Możemy je łatwo sprawdzić. — (w dalszym ciągu)

Zważmy ciało C najprzód w sposób zwykły, potem zanurzmy je do naczynia, rys.35., tak jak opisano w § 43. i zważmy je powtórnie, zanurzone w wodzie. Przekonamy się, że ciało zanurzone zachowuje się tak, jak gdyby ważyło mniej, a mianowicie o tyle mniej, ile waży woda, wypchnięta przez nie do naczynia D (rys.35.).

§ 61. Skąd powstaje siła wypierająca w cieczach.

Każda ciecz usiłuje wyprzeć do góry wszelkie zanurzone w niej ciało. Skąd bierze się ta siła? Możemy na to odpowiedzieć na zasadzie §§ 56. i 57. Wyobraźmy sobie mały sześcian n. p. szklany, zanurzony w wodzie (rys. 81., na którym naczynie i sześcian widzimy z boku). Przypuśćmy, że sześcian ma po 1 centymetrze szerokości, długości i wysokości. Przypuśćmy, że ścianka górna b leży pod powierzchnią wody w odległości 4 cm; w takim razie ścianka dolna c leży pod nią w odległości 5 cm. Zatem, według § 57., ciśnienie wody na górną ściankę b równa się ciężarowi 4 gramów a ciśnienie wody na dolną ściankę c równa się ciężarowi 5 gramów. Pierwsze ciśnienie działa z góry na dół, drugie z dołu do góry. Te ciśnienia nie równoważą się, skoro drugie, działające od dołu, jest większe; na sześcian działa ostatecznie z dołu do góry siła, równa ciężarowi 1 grama. (Na ścianki boczne a, a działają równe ciśnienia, wprost przeciwne sobie, więc znoszą się dokładnie). To zatem jest przyczyną parcia do góry, którego doznaje sześcian; Powiadamy zatem, że wskutek tego, zajmując objętość 1 cm^3, traci pozornie 1 gram na ciężarze. Gdyby miał objętość n. p. 15 cm^3, traciłby pozornie 15 gramów na ciężarze.



Rys. 56.

§ 62. O ciałach pływających.

Wyobraźmy sobie (rys. 57.) kawałek drzewa, przypuśćmy o objętości 10 cm^3. Jeśli zanurzymy go do wody, woda wypiera go do góry siłą 10 gramów. Tymczasem kawałek drzewa o objętości 10 cm^3 waży tylko 5 gramów (§ 39.); siła ciężkości ciągnie go na dół siłą 5 gramów. Zatem kawałek drzewa nie może tonąć w wodzie ani bujać w niej swobodnie, lecz musi iść do góry. Gdy dojdzie do powierzchni, kawałek drzewa zacznie wynurzać się z wody; im bardziej się wynurzy, tem mniejszego parcia do góry będzie doznawał od cieczy. Oczywista, że przestanie wynurzać się wtedy, kiedy parcie cieczy stanie się równe jego ciężarowi. Powiadamy zatem: ~~ciało pływające zanurza się tak, że~~ *ciężar cieczy*, ~~której miejsce zajmuje~~ którą wypiera ciało pływające, *jest równy całemu* ~~jego~~ *ciężarowi* tego ciała. Możemy to sprawdzić zapomocą przyrządu, przedstawionego na rys. 35., § 43. Napełniwszy naczynie *A* wodą aż do ustania wypływu, kładziemy na wodę kawałek drzewa lub korka. Ciało to wypchnie do *D* tyle gramów wody, ile samo waży.

Rys. 57

Na zasadzie ~~powyższych objaśnień~~ artykułów poprzednich i niniejszego łatwo wytłómaczyć, dlaczego pod wodą poruszamy ręce i nogi tak swobodnie, jak gdyby były pozbawione ciężaru; dlaczego dźwigamy pod wodą ciężary, których nie możemy wznieść po nad wodę; dlaczego duża pusta beczka może wydobyć z dna rzeki ciężki kamień; dlaczego kawałek mosiądzu lub szkła tonie w wodzie a kubek mosiężny lub butelka szklana nie tonie; dlaczego trudno jest utrzymać się na nogach w rzece o wartkim prądzie, jeśli woda sięga do szyi; dlaczego lód pływa po wodzie a żelazo po rtęci (zob. § 39).

§ . Areometr.

Na tejsamej zasadzie ~~również~~ łatwo zrozumieć działanie przyrządu, służącego do pomiarów *gęstości cieczy* ~~(gęstości rzeczy)~~, który nosi nazwę *areometru* lub *hydrometru*. Jest to (rys. 58.) naczyńko szklane, ze wszystkich stron zamknięte, obciążone niezbyt znaczną ilością rtęci. Przypuśćmy, że taki areometr waży n. p. 50 gramów. ~~Jeśli~~ Umieśćmy go w wodzie (rys. 59. *a*); ~~tedy~~ według prawidła § 62-go, areometr zanurzy się w taki sposób, że zajmie

Rys. 58.

Rys. 59.

miejsce 50 gramów wody; więc ze swej całkowitej objętości zanurzy pod wodę 50 cm^3. Wprowadźmy teraz tensam areometr ~~[illegible]~~ do alkoholu. Według prawidła, areometr musi znów wypchnąć 50 gramów cieczy. Ale 50 gramów alkoholu zajmuje więcej niż 50 cm^3; ~~według § 3[illegible], jeden cm³ alkoholu posiada masę 0,8 g, zatem 50 g alkoholu zajmuje $\frac{50}{0,8}$ czyli około 62 cm³. Widzimy, że~~ areometr zanurzy się głębiej w alkoholu niż w wodzie (rys. ~~[illegible]~~ 59, *b*). Gdybyśmy ~~zatem~~ nie znali gęstości cieczy badanej, moglibyśmy ją wyliczyć z zanurzenia się w niej areometru; taki też jest użytek tego przyrządu.

zajmuje mianowicie około 62 cm³, albowiem alkohol jest mniej gęsty niż woda (zob. § 39.). Zatem

§ 64. ~~§ 62.~~ Powietrze.

Często zapominamy o powietrzu, ~~[illegible]~~ w którem jesteśmy zanurzeni. Nie widzimy powietrza, nie posiada ono zapachu, zazwyczaj nie przeszkadza naszym ruchom; dlatego zwracamy na nie mało uwagi. Naprzykład powiadamy, że szklanka, w której nic nie dostrzegamy, jest *próżna* czyli *pusta*. Tymczasem rzeczywiście nie jest ona pusta; zawiera ona powietrze, które, gdy jest ściskane, stawia opór. Zanurzając szklankę dnem do góry do wody (rys. 60.), zobaczymy, że woda nie wchodzi do szklanki; poziom jej w szklance jest niższy, niż dokoła ~~na zewnątrz szklanki~~. Tak nie mogłoby być, według § 55., gdyby na wodę w szklance nie działało jakieś ciśnienie, nie pozwalające wyrównać się obu poziomom. Powiadamy zatem: powietrze stawia opór, gdy jest ściskane; *powietrze ma sprężystość objętości*. ~~(§ 52)~~. Powietrze stawia tu opór dlatego, że nie może ujść, że wdzieranie się wody do szklanki musiałoby zmniejszyć *objętość*, jaką powietrze zajmuje. Lecz *postaci* własnej powietrze nie posiada, podobnie jak nie posiada jej woda. Zmienione w swej postaci, nie okazuje ono dążności do przybrania jej napowrót, jak to czyni stal albo kauczuk. Powietrze nie ma więc sprężystości postaci. Pomyślmy, jak dalece bylibyśmy skrępowani w codziennych naszych czynnościach, gdyby powietrze miało sprężystość postaci. Pozwólmy ujść powietrzu, zawartemu w szklance, rys. 60.; wprowadźmy n. p. szklankę odrazu razem z rurką do wody, jak to widzimy na rys. 61., a zobaczymy, że woda podnosi się w szklance do poziomu tegosamego, na jakim stoi dokoła.



Rys. 60.



Rys. ~~36~~ 61.

§ 65. Powietrze jest łatwiej ściśliwe niż woda.

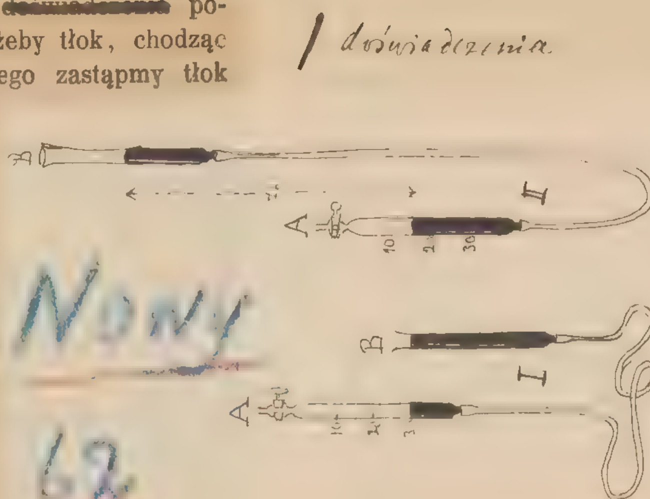
Powietrze zatem ma sprężystość objętości; ~~jak woda~~; zobaczymy, jak znaczną. ~~ma sprężystość objętości.~~ Wiemy, że woda jest bardzo mało ściśliwa (§ 45.). Powróćmy do przyrządu (rys. 38.), który posłużył w § 45. do unaocznienia małej ściśliwości wody. Gdyby w tymsamym ~~układzie~~ przyrządzie zamiast wody było powietrze, nie potrzebaby wówczas 2000 *kg* ~~(zob. § 49)~~, dość byłoby położyć $\frac{1}{10}$ *kg* czyli 100 gramów, ażeby wcisnąć tłok o 1 *mm* ku dołowi. Doświadczenia tego nie można oczywiście wykonać w tak prosty sposób; przytaczamy je tylko dla unaocznienia różnicy w ściśliwości powietrza i wody. Widzimy, że powietrze jest znacznie łatwiej ściśliwe, niż woda. Gdybyśmy położyli 2000 *kg* na tłok w walcu, zawierającym powietrze, ścisnęłoby się ono mniej więcej do $\frac{1}{200}$-ej części swej objętości pierwotnej; powietrze wówczas stawiałoby tak ogromny opór, czyli wywierałoby od dołu na tłok tak ogromne ciśnienie, że ciężar 2000 *kg* zostałby przez nie zrównoważony i tłok nie mógłby już posunąć się niżej ani o najmniejszą część milimetra.

§ 66. Ściśliwość powietrza.

Powiedzieliśmy, że nie można wykonać ~~doświadczenie~~ powyższego / w sposób tak prosty; niepodobna, ażeby tłok, chodząc ~~zupełnie~~ bez tarcia, przystawał szczelnie; dlatego zastąpmy tłok wraz z ciężarem przez słup rtęci. Zbudujmy przyrząd, jaki przedstawia rys. //. Rurka *A*, opatrzona kurkiem, ma podziałkę, wskazującą, ile zawiera się w niej *cm*³, poczynając od kurka. Zapomocą wytrzymałej rurki kauczukowej rurka ta łączy się z drugą *B*. Otwieramy w *A* kurek i doprowadzamy rtęć w rurce n. p. do liczby 30. Oba poziomy rtęci stoją jednakowo wysoko (rys. //., I). Zamykamy teraz kurek; zatem w *A* zamknęliśmy pewną ilość powietrza takiego, jakie nas ~~dokoła~~ otacza, czyli *atmosferycznego*; tę ilość powietrza będziemy ściskali. Podnosimy rurkę *B* i widzimy: 1) że objętość powietrza w *A* zmniejsza się; 2) że Γ odległość pomiędzy poziomami rtęci zwiększa się (rys. //., położenie II). Zobaczmy, jakich słupów rtęci potrzeba, ażeby powietrze, uwięzione w przyrządzie, ścisnąć do dwóch trzecich, do połowy,

/ doświadczenia.

Ma być umieszczony prosto w tekście. Tu tylko zbiorów wybrzeży wybrzeżu



Rys. ~~87~~. 62.

// 62 Γ pionowo ~~—~~ mierzona

do jednej trzeciej (objętości pierwotnej), podnośmy rurkę *B*, dopóki rtęć w *A* nie dojdzie do żądanej kreski na podziałce. Przekonamy się, że pionowa odległość pomiędzy poziomami wyniesie 38 *cm*, gdy w *A* rtęć dojdzie (na podziałce) do liczby 20; że wyniesie 76 *cm*, gdy w *A* rtęć dojdzie ~~na podziałce~~ do liczby 15; że wyniesie 152 cm, ~~wreszcie 152 cm~~, gdy w *A* rtęć dojdzie do liczby 10. Zobaczymy dalej ~~(§ 68)~~, co te liczby znaczą.

§ 67. ~~§ 64.~~ Ciśnienie powietrza.

Przekonaliśmy się, że ilość powietrza, ~~jaką~~ / zamknęliśmy w rurce *A* pomiędzy rtęcią a kurkiem, wywiera pewne ciśnienie, gdy zajmuje objętość 20 *cm*³; ~~Powstaje pytanie,~~ czy nie wywiera ona już wówczas ciśnienia, gdy zajmuje pierwotną swą objętość 30 *cm*³? Wprawdzie widzimy wówczas oba poziomy na wysokości jednakiej (rys. //., I); ale możemy to ~~wytłómaczyć~~ obecnością powietrza także i w otwartej rurce *B*. ~~Bo~~ Jeśli zamknięte w *A* powietrze ciśnie na rtęć, tedy ~~także~~ powietrze, znajdujące się w *B*, ciśnie na rtęć, (mianowicie ciśnie) równie ~~silnie~~, skoro w *A* zamknęliśmy zwykłe powietrze atmosferyczne. Żeby ~~się więc przekonać~~, czy powietrze w *A* ~~(rys. 87)~~ wywiera ciśnienie, należałoby doświadczenie tak urządzić, żeby nad rtęcią w *B* nie było wcale powietrza.

/ którą

albowiem równoważy ciężar rtęci, wzniesionej w rurce B wyżej niż w rurce A.

// 62

⊥ także

Γ przekonać się

⊥ mocno

(od wiersza)

Możemy tego dopiąć, biorąc zamiast otwartej rurki *B* rurkę *C*, zaopatrzoną w kurek (rys. //.). Najprzód obniżamy rurkę *C* tak, że rtęć przechodzi w niej po za kurek i nieledwie przelewa się górą (rys. //., I). W tem położeniu *zamykamy* kurek *C* i podnosimy rurkę *C* do góry. (Kurek *A* może być przytem bądź otwarty, bądź zamknięty). Podnosząc rurkę *C*, widzimy, że rtęć w niej nie opada; możemy podnieść kurek *C* o 20, o 50, nawet o 70 centymetrów powyżej rtęci w *A*, a rtęć w *C* nie opadnie (rys. //., II).

// 63.

// 63.

// 63.

Podnieśmy rurkę *C* jeszcze wyżej: n. p. tak, żeby kurek *C* był wzniesiony o metr ponad rtęć w *A*. Wówczas stanie się coś nowego. Rtęć w *C* odrywa się od kurka, opada i zatrzymuje się na

§ 66. Ściśliwość powietrza.

Powiedzieliśmy, że nie można wykonać ~~doświadczenia~~ powyższego / w sposób tak prosty; niepodobna, ażeby tłok, chodząc ~~zupełnie~~ bez tarcia, przystawał szczelnie; dlatego zastąpmy tłok

/ doświadczenia

wraz z ciężare
przyrząd, jaki
opatrzona kurki
ile zawiera się
Zapomocą wytrz
ta łączy się z
i doprowadzam
Oba poziomy
(rys. ~~61~~., I). Za
zamknęliśmy p
jakie nas ~~dokoł~~
tę ilość powietr
rurkę *B* i wid



Rys. ~~57~~ 62.

w *A* zmniejsza się; 2) że / odległość pomiędzy poziomami rtęci zwiększa się (rys. ~~61~~., położenie II). Zobaczmy, jakich słupów rtęci potrzeba, ażeby powietrze, uwięzione w przyrządzie, ścisnąć do dwóch trzecich, do połowy, do jednej trzeciej (objętości pierwotnej); podnośmy rurkę *B*, dopóki rtęć w *A* nie dojdzie do żądanej kreski na podziałce. Przekonamy się, że pionowa odległość pomiędzy poziomami wyniesie 38 *cm*, gdy w *A* rtęć dojdzie (na podziałce) do liczby 20; że wyniesie 76 *cm*, gdy w *A* rtęć dojdzie ~~na podziałce~~ do liczby 15; że wyniesie ~~na~~ 152 cm, ~~wreszcie 152 cm~~, gdy w *A* rtęć dojdzie do liczby 10. Zobaczymy dalej ~~(§ 68)~~, co te liczby znaczą.

// 62.

// 62

// 62   ⌈ pionowo ~~do~~ mierzona

§ 67. ~~§ 64.~~ Ciśnienie powietrza.

Przekonaliśmy się, że ilość powietrza, ~~jaką~~ / zamknęliśmy w rurce *A* pomiędzy rtęcią a kurkiem, wywiera pewne ciśnienie, gdy zajmuje objętość 20 cm^3; ~~Powstaje pytanie~~, Czy nie wywiera ona już wówczas ciśnienia, gdy zajmuje pierwotną swą objętość 30 cm^3? Wprawdzie widzimy wówczas oba poziomy na wysokości jednakiej (rys. ~~61~~., I); ale możemy to ~~wytłómaczyć~~ obecnością powietrza także i w otwartej rurce *B*. ~~Bo~~ Jeśli zamknięte w *A* powietrze ciśnie na rtęć, tedy ~~także~~ powietrze, znajdujące się w *B*, ciśnie na rtęć, (mianowicie ciśnie) równie // ~~silnie~~, skoro w *A* zamknęliśmy zwykłe powietrze atmosferyczne. Żeby ⌈ ~~się więc przekonać~~, czy powietrze w *A* ~~(rys. 37)~~ wywiera ciśnienie, należałoby doświadczenie tak urządzić, żeby nad rtęcią w *B* *nie było* wcale powietrza.

/ którą

albowiem równoważy ciężar rtęci, wzniesionej w rurce *B* wyżej niż w rurce *A*.

// 62

⊥ także   // mocno

⌈ przekonać się

(od wiersza)

Możemy tego dopiąć, biorąc zamiast otwartej rurki *B* rurkę *C*, zaopatrzoną w kurek (rys. ~~62~~.). Najprzód obniżamy rurkę *C* tak, że rtęć przechodzi w niej po za kurek i nieledwie przelewa się górą (rys. ~~62~~., I). W tem położeniu *zamykamy* kurek *C* i podnosimy rurkę *C* do góry. (Kurek *A* może być przytem bądź otwarty, bądź zamknięty). Podnosząc rurkę *C*, widzimy, że rtęć w niej nie opada; możemy podnieść kurek *C* o 20, o 50, nawet o 70 centymetrów powyżej rtęci w *A*, a rtęć w *C* nie opadnie (rys. ~~62~~., II).

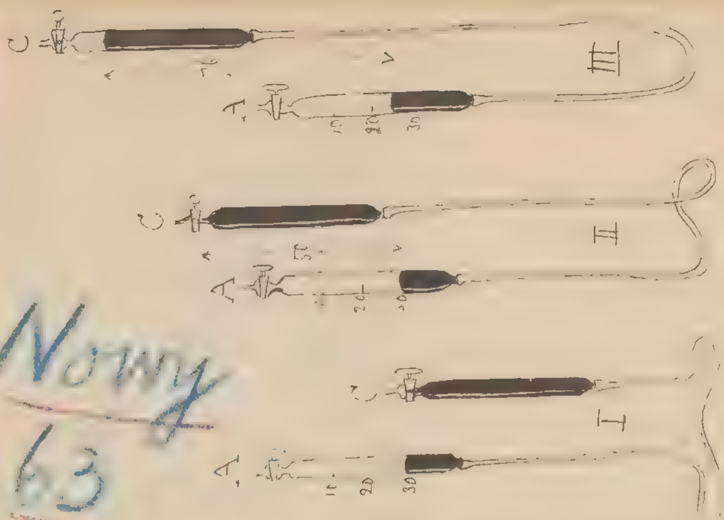
// 63.

// 63.

// 63.

Podnieśmy rurkę *C* jeszcze wyżej: n. p. tak, żeby kurek *C* był wzniesiony o metr ponad rtęć w *A*. Wówczas stanie się coś nowego. Rtęć w *C* odrywa się od kurka, opada i zatrzymuje się na

wysokości 76 *cm* ponad poziomem w *A* (rys. [redacted], III). Jeśli podniesiemy rurkę *C* jeszcze wyżej, poziom rtęci nie podniesie się w niej, ani się nie zniży, lecz zostanie wzniesiony o 76 *cm* ponad poziom w *A*. *Powiadamy, że w rurce C, pomiędzy rtęcią a kurkiem, mamy teraz próżnię,* [redacted] Istotnie, powietrze tam dostać się nie mogło ani przez kurek (jeśli jest szczelny), ani przez rtęć, ani przez szkło. Zresztą, opuszczając teraz rurkę *C* na dół, dostrzegamy, że rtęć



Rys. [redacted] 63.

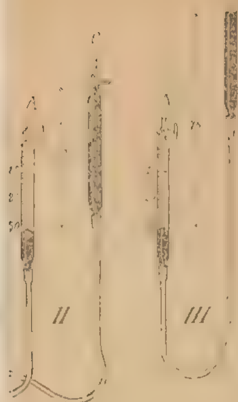
mocno uderza o szkło, wydając odgłos [redacted] suchy; znak, że tam niema powietrza, które (jakby poduszka) łagodziłoby uderzenie rtęci. Czemuż w położeniu III. (rys. [redacted].) poziom rtęci w *C* trzyma się o 76 *cm* wyżej od poziomu w *A*? Co podtrzymuje słup rtęci 76 *cm* wysoki? Skoro pomiędzy rtęcią a kurkiem w *C* jest próżnia, przeto tam niema żadnego ciśnienia na rtęć, więc ciśnienie powietrza w *A* jest powodem różnicy poziomów. *Zwykłe atmosferyczne powietrze* (jakie nas otacza) *wywiera ciśnienie, które może podtrzymywać słup rtęci o wysokości 76 centymetrów.* Rozumiemy teraz, dlaczego rtęć nie odrywała się od kurka *C*, dopóki był on wzniesiony nad poziom w *A* o 20, 50 lub 70 *cm* (rys. [redacted], II). Rozumiemy także, dlaczego, skoro już rtęć oderwała się i próżnia [redacted] utworzyła się, dalsze podnoszenie rurki *C* nie miało wpływu na wzniesienie górnego poziomu nad dolnym. Bo próżnia, czy zajmuje małą objętość, czy dużą, nie wywiera żadnego ciśnienia.

§ 68 Inne doświadczenie, okazujące ciśnienie powietrza.

Doświadczenie poprzednie można inaczej wykonać. Rurkę *A* (rys. 64.), u jednego końca zamkniętą, u drugiego otwartą, o długości przenoszącej 76 *cm*, wypełniamy rtęcią. Następnie zamykamy ją palcem, przewracamy i wprowadzamy pod rtęć do płaskiego naczynia; odejmujemy palec, gdy otwór rurki zanurzył się pod rtęcią w naczyniu. Rtęć spada w rurce *A* i zatrzymuje się o 76 *cm* nad poziomem w płaskiem naczyniu. Możemy przekonać się o tem zapomocą krótkiej podziałki *S*, do której przytwierdziliśmy prosty drut stalowy, [redacted] 65 *cm* długości. Obraz drutu odbija się w rtęci, łatwo więc zobaczyć, kiedy dotyka jej zwierciadła. Powiadamy, że przyrząd ten jest tylko odmianą urządzenia, przedstawionego na rys. [redacted], III. Ciśnienie powietrza na rtęć w płaskiem naczyniu podtrzymuje tu słup rtęci, podniesiony w rurce *A*, z powodu, iż nad rtęcią w *A* jest próżnia; zupełnie podobnie ciśnienie powietrza na lewy poziom w dawniejszym przyrządzie (rys. [redacted], III) podtrzymywało prawy poziom, wzniesiony wyżej o 76 *cm*. W obu razach *ciśnienie atmosferycznego powietrza równoważy ciężar podniesionego słupa rtęci.*



Rys. [redacted] 64.

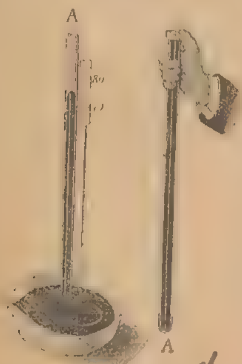


Rys. 63.

C na dół, dostrzegamy, że rtęć mocno uderza o szkło, wydając odgłos suchy; znak, że tam niema powietrza, które (jakby poduszka) łagodziłoby uderzenie rtęci. Czemu w położeniu III. (rys. 63.) poziom rtęci w *C* trzyma się o 76 *cm* wyżej od poziomu w *A*? Co podtrzymuje słup rtęci 76 *cm* wysoki? Skoro pomiędzy rtęcią a kurkiem w *C* jest próżnia, przeto tam niema żadnego ciśnienia na rtęć, więc ciśnienie powietrza w *A* jest powodem różnicy poziomów. *Zwykłe atmosferyczne powietrze* (jakie nas otacza) *wywiera ciśnienie, które może podtrzymywać słup rtęci o wysokości 76 centymetrów.* Rozumiemy teraz, dlaczego rtęć nie odrywała się od kurka *C*, dopóki był on wzniesiony nad poziom w *A* o 20, 50 lub 70 *cm* (rys. 63., II). Rozumiemy także, dlaczego, skoro już rtęć się oderwała i próżnia się utworzyła, dalsze podnoszenie rurki *C* nie miało wpływu na wzniesienie górnego poziomu nad dolnym. Bo próżnia, czy zajmuje małą objętość, czy dużą, nie wywiera żadnego ciśnienia.

§ 68. Inne doświadczenie, okazujące ciśnienie powietrza.

Doświadczenie poprzednie można inaczej wykonać. Rurkę *A* (rys. 64.), u jednego końca zamkniętą, u drugiego otwartą, o długości przenoszącej 76 *cm*, wypełniamy rtęcią. Następnie zamykamy ją palcem, przewracamy i wprowadzamy pod rtęć do płaskiego naczynia; odejmujemy palec, gdy otwór rurki zanurzył się pod rtęcią w naczyniu. Rtęć spada w rurce *A* i zatrzymuje się o 76 *cm* nad poziomem w płaskiem naczyniu. Możemy przekonać się o tem zapomocą krótkiej podziałki *S*, do której przytwierdziliśmy prosty drut stalowy, mający długości 65 *cm*. Obraz drutu odbija się w rtęci, łatwo więc zobaczyć, kiedy dotyka jej zwierciadła. Powiadamy, że przyrząd ten jest tylko odmianą urządzenia, przedstawionego na rys. 63., III. Ciśnienie powietrza na rtęć w płaskiem naczyniu podtrzymuje tu słup rtęci, podniesiony w rurce *A*, z powodu, iż nad rtęcią w *A* jest próżnia; zupełnie podobnie ciśnienie powietrza na lewy poziom w dawniejszym przyrządzie (rys. 63., III) podtrzymywało prawy poziom, wzniesiony wyżej o 76 *cm*. W obu razach *ciśnienie atmosferycznego powietrza równoważy ciężar podniesionego słupa rtęci.*



Rys. 64.

§ 69. Jak wielkie jest ciśnienie powietrza.

~~Gdybyśmy wzięli~~ W przyrządzie, wyobrażonym na rys. 64., ┌ weźmy rurkę szerszą, n. p. rurkę B o przecięciu dwa razy większem niż przecięcie poprzedniej rurki A. Czy słup, podniesiony w nowej rurce B, będzie miał również wysokość 76 *cm*? Gdyby tak było, słup w rurce B zawierałby dwa razy tyle rtęci, ważyłby zatem dwa razy więcej niż słup w A; więc mogłoby się ~~więc~~ wydawać, że w B słup powinien być niższy; *ale tak nie jest.* Ciężar słupa w B będzie wprawdzie dwa razy większy niż ciężar słupa w A; ale też za to będzie się rozpościerał na *pole* dwa razy większe. *Ciśnienie* zatem *na jednostkę pola* (§ 50) będzie w obu razach jednakowe. Możemy więc powiedzieć, że *miarą ciśnienia powietrza jest słup rtęci o wysokości 76 cm;* nie potrzebujemy dodawać, jak wielkie ma być przecięcie tego słupa. Takie ciśnienie nazywa się zwykłem atmosferycznem ciśnieniem lub ciśnieniem jednej atmosfery.

(Od wiersza). Przeciwnie, jeżeli chcemy porównać ciśnienie powietrza z ciśnieniem, sprawianem ~~przez pewien ciężar~~, n. p. przez kilogram na podstawę, musimy określić pole tej podstawy; kilogram bowiem ciśnie inaczej na pole o rozległości n. p. 10 cm^2 niż na pole o rozległości 20 cm^2. Przypuśćmy, że rurka A (rys. 64.) ma 1 cm^2 przecięcia; słup podniesionej w niej rtęci zawiera więc 76 cm^3 a zatem (§ 39.) waży $76 \times 13{\cdot}5 = 1026$ gramów. Zatem słup rtęci w rurce A wywiera ciśnienie przeszło kilograma na każdy centymetr kwadratowy przecięcia, na którem łączy się z rtęcią szerokiego naczynia; takie jest ciśnienie powietrza. *Powietrze atmosferyczne wywiera ciśnienie przeszło kilograma na centymetr kwadratowy.* Jest to potężne ciśnienie, bo centymetr kwadratowy to niewielka rozległość (rys. 65.). ~~N. p.~~ Na przykład na stół o rozległości jednego metra kwadratowego powietrze ciśnie siłą ciężaru 10260 kilogramów.

1 cm kw.

Rys. 65.

Ciśnienie powietrza w danej miejscowości nie jest ~~wcale~~ dokładnie stałe; ~~lecz~~ ulega nieustannym, ~~choć~~ wogóle niezbyt znacznym wahaniom. W danej miejscowości zależy ono od stanu otaczającego powietrza czyli od tego, co nazywamy *pogodą*. Gdy np. *burza* nadciąga, ciśnienie powietrza najczęściej jest stosunkowo nizkie.

Przyrządy, które służą do mierzenia ciśnienia powietrza, nazywają się *barometrami*. Najdokładniejsze i najpewniejsze są *barometry rtęciowe* ~~(merkuryalne)~~, jakimi są naprzykład przyrządy, wyobrażone na rys. 63. oraz 64.; barometry rtęciowe, używane ~~bądź~~ w pracowniach naukowych i ~~bądź też~~ w życiu codziennem, różnią się od tych przyrządów tylko szczegółami budowy.

§ 70. Jak zachowuje się powietrze, gdy je ściskamy.

Wróćmy do § 66. Wiemy, że na rtęć w rurce B (rys. 62.) działa ciśnienie powietrza atmosferycznego czyli 1 atmosfera. Zatem, kiedy poziomy w A i B stoją jednakowo wysoko (rys. 62.), ~~znaczy to~~ powiadamy, że powietrze w A wywiera ciśnienie ~~równe~~ 76 *cm*; kiedy poziom w B stoi wyżej niż w A o pewną liczbę centymetrów, znaczy to, że powietrze w A wywiera ciśnienie 76 cm., więcej ~~tyle centymetrów, ile wynosi~~ odległość pomiędzy poziomami. ~~więcej 76 cm.~~ Mamy więc prawidło: aby ~~Aby~~ znaleść

ciśnienie powietrza w *A*, trzeba więc /dodać (zawsze) 76 *cm* do odległości pomiędzy poziomami. W § 44. powiedzieliśmy, jakie muszą być odległości pomiędzy poziomami, ażeby powietrze, które zajmowało z początku 30 *cm*³, ścisnęło się do 20, do 15, do 10 *cm*³. Obliczmy teraz / ciśnienia, które powietrze wywierało w tych objętościach.

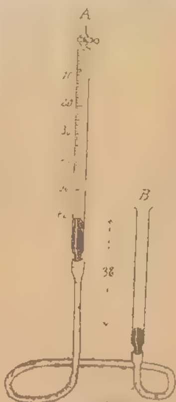
// 66

/ według przyłożonego właśnie prawidła,

Objętość powietrza w *A*	Odległość pomiędzy poziomami *A* i *B*	Ciśnienie powietrza w *A*
30 *cm*³	Zero	76 *cm* czyli 1 atm.
20 *cm*³	38 *cm*	114 *cm* czyli 1·5 atm.
15 *cm*³	76 *cm*	152 *cm* czyli 2 atm.
10 *cm*³	152 *cm*	228 *cm* czyli 3 atm.

Widzimy, że, kiedy objętość powietrza zmniejsza się do połowy (np. z 30 na 15, z 20 na 10 *cm*³), ciśnienie powiększa się w dwójnasób. Tak zachowuje się powietrze. *Ile razy zmniejszymy objętość pewnej ilości powietrza, tyle razy powiększy się jego ciśnienie.*

§ 71. Jak zachowuje się powietrze, gdy je rozrzedzamy.



Rys. 66.

Zmniejszaliśmy dotychczas objętość powietrza; czy nie możemy jej powiększać? Opuśćmy na dół rurkę *B* (rys. 66.), zamiast ją podnosić do góry. Zobaczymy, że poziom w rurce *A* będzie stał wyżej niż w rurce *B*. To znaczy, że powietrze w rurce *A* wywiera teraz ciśnienie ***mniejsze***, niż powietrze atmosferyczne, t. j. mniejsze niż jedna atmosfera. Jeżeli n. p. poziom *A* stoi o 19 *cm* albo o 38 *cm* wyżej niż *B*, to znaczy, że powietrze w *A* ma ciśnienie o 19 *cm* albo o 38 *cm* mniejsze od 1 atmosfery, a więc ciśnienie 57 *cm* albo 38 *cm*. Teraz więc / trzeba *odjąć* odległość poziomów od 76 *cm*, żeby znaleść ciśnienie powietrza w rurce *A*. Według tego prawidła obliczamy, co następuje: ~~W ten sposób znajdujemy~~

// 66.

/ mamy prawidło:

Objętość powietrza w *A*	Odległość pomiędzy poziomami *A* i *B*	Ciśnienie powietrza w *A*
40 *cm*³	19 *cm*	57 *cm* = 0·75 atm.
60 *cm*³	38 *cm*	38 *cm* = 0·50 atm.

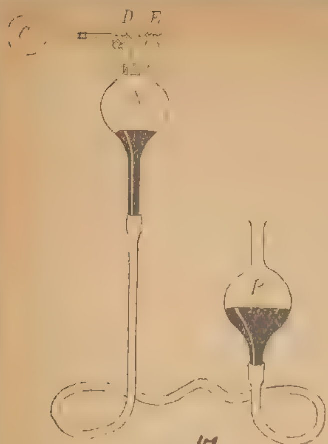
Porównajmy te ciśnienia z dawniejszemi, jakie mieliśmy ~~przy~~ w objętości 20 *cm*³ oraz 30 *cm*³. Widzimy, że, kiedy objętość powietrza zwiększała się w dwójnasób (np. z 20 na 40, z 30 na 60 *cm*³), ciśnienie zmniejszało się do połowy. *Ile razy zwiększymy objętość pewnej ilości powietrza, tyle razy zmniejszy się jego ciśnienie.* Jest to ta sama / zasada, jak poprzednia, która stosowała się do zmniejszania się objętości i zwiększania się ciśnień / (§ 70.). ~~Obadwa pra~~

§ 72. Pompa pneumatyczna ręczna.

// 66.

Ostatnie doświadczenie ~~w artykule poprzednim~~ (rys. 66.) naprowadza na pomysł zbudowania tak zwanej pompy pneumatycznej, która służy do wyciągania powietrza. Wyobraźmy sobie balon

renie powietrza.

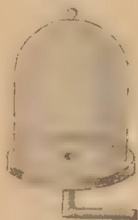


Rys. 67.

szklany A (rys. 67.), do którego wchodzą dwie rurki. Jedna prowadzi do naczynia C, z którego chcemy wyciągnąć powietrze; ta może być zamknięta kurkiem D. Druga prowadzi wprost na zewnątrz i może być zamknięta kurkiem E. Możemy zniżać i podnosić rtęć w balonie A, zniżając lub podnosząc balon B, który łączy się z pierwszym wytrzymałą rurką kauczukową. Najprzód podnosimy rtęć w balonie A aż do kurków D i E. Następnie zamykamy E, łączymy D z naczyniem C i opuszczamy rtęć w A. Rtęć, opadając, pozostawiałaby w balonie próżnię, gdyby nie powietrze w C, które napływa do A. Jednak ta ilość powietrza, która pod ciśnieniem jednej atmosfery zajmowała objętość naczynia C, rozchodzi się teraz po obu naczyniach C i A; mamy więc już teraz w C ciśnienie zmniejszone. Jeśli n. p. objętość A jest trzy razy większa niż objętość C, wtedy ciśnienie w C zmniejszyło się z jednej atmosfery do $1/4$ atmosfery (§ 71.). Teraz zamykamy D, podnosimy w A rtęć do góry i otwieramy kurek E. Tym sposobem wypędzamy nazewnątrz powietrze, które napłynęło było z C do A. Podniósłszy rtęć jak można najwyżej, znów zamykamy E, otwieramy D i opuszczamy rtęć, jednem słowem powtarzamy, co czyniliśmy przed chwilą. Powietrze z C rozejdzie się znów po przyrządzie, ciśnienie w C zmniejszy się z $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{16}$ atmosfery. Taksamo postępować będziemy dalej. Po kilku poruszeniach rtęci otrzymamy w C bardzo małe ciśnienie, t. j. usuniemy stamtąd powietrze prawie zupełnie.

§ 73. Uwagi dodatkowe o doświadczeniach poprzednich.

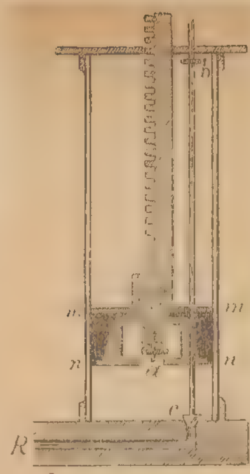
Do doświadczeń z pompą rtęciową, jak również do opisanych w kilku poprzednich artykułach, należy używać rtęci czystej. Rtęć, znajdująca się w handlu, bywa zazwyczaj dość czysta, trzeba ją tylko *przefiltrować* a często i wysuszyć. Z rtęcią należy obchodzić się ostrożnie, zwłaszcza zaś unikać ogrzewania jej w otwartych naczyniach. Przy doświadczeniach z pompą przydatny bywa *talerz* (rys. 68.), przez który prowadzi rura do pompy; na talerzu umieszcza się przedmioty, które mają znaleźć się w próżni, przykrywając je przyszlifowanym dzwonem szklanym. Dla szczelności brzeg tego dzwonu smarujemy łojem albo wazeliną albo mieszaniną parafiny z wazeliną. Podobnym smarem smarujemy również szlifowane części kurków szklanych.


Rys. 68.

§ 74. Pompy pneumatyczne innej budowy.

Można powiedzieć, że pompa rtęciowa, wyżej opisana, ma tłok, zrobiony z rtęci. Budują też często pompy pneumatyczne o tłokach drewnianych lub metalowych, obciągniętych skórą. Zamiast kurków (jak D i E na rys. 67.) robią wówczas *zastawki (wentyle)* czyli klapy, które samo pompowane powietrze odmyka i zamyka. Na rys. 69. widzimy istotną część maszyny podobnej. Przez tłok przechodzi środkiem kanał, od dołu zamykany zastawką a,

44.

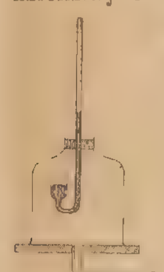


Rys. 69.

od góry łączący się z zewnętrznem powietrzem. Z boku tkwi w tłoku pręt *bc*, poruszający się razem z tłokiem do góry i na dół, o ile pozwalają na to zatyczka *c* i haczyk *b*. Gdy tłok posuwa się do góry, pręt *bc* podnosi się, kanał *R* jest więc otwarty, natomiast *a* zamyka się zaraz pod naciskiem zewnętrznego powietrza, gdyż ruch tłoka rozrzedza pod nim powietrze; a zatem ostatecznie powietrze jest pompowane przez *R*, n. p. z pod dzwonu (rys. 68.). Przeciwnie, gdy tłok *mmnn* zesuwa się na dół, pręt *bc* opuszcza się, zamyka *R*; powietrze, które napłynęło było do walca, ściskane, nabiera większego ciśnienia, nareszcie otwiera klapę *a* i wychodzi na zewnątrz.

§ 75. (Doświadczenia, okazujące) ciśnienie powietrza.

Przy pomocy pompy pneumatycznej sprawdzamy, co powiedzieliśmy o ciśnieniu powietrza. Wstawmy n. p. pod dzwon z rys. 68. butelkę, zaopatrzoną w korek, przez który przechodzi rurka wyciągnięta (rys. 70.); w butelce tej znajduje się woda. Gdy pompa zacznie działać, woda tryska z rurki. Albo też wprowadźmy barometr pod dzwon pompy, jak wskazuje rys. 71. Słup w barometrze będzie spadał coraz niżej, im dłużej pompa będzie działała. Zamknijmy wylot rury w talerzu (rys. 68.) palcem lub dłonią; w miarę pompowania czujemy, że coś wtłacza nam skórę do rurki. Postawmy na talerzu szeroką rurę szklaną, której otwór górny obwiązaliśmy pęcherzem lub błoną kauczukową; wskutek działania pompy błona staje się wklęsłą ku dołowi i nareszcie pęka. Wszystkie te skutki sprawia ciśnienie powietrza. Nie wydają się one dziwne, skoro ciśnienie to równa się, jak doszliśmy, ciśnieniu przeszło kilograma na centymetr kwadratowy.



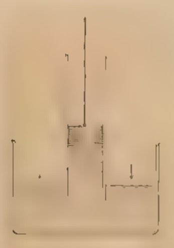
Rys. 71.

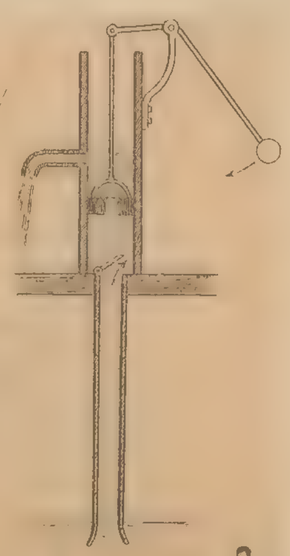

Rys. 70.

(To objaśnia, czemu możemy pić napoje, ciągnąc je rurką lub słomką.)

§ 76. Niektóre zastosowania: pompy, sikawki i t. d.

Weźmy rurkę, w której porusza się tłok (rys. 72.); zanurzamy ją dolnym otworem do wody i podnosimy tłok. Tym sposobem tworzy się pod tłokiem próżnia, którą natychmiast wypełnia woda, bo wciska ją tam ciśnienie powietrza zewnętrznego. Na tej samej zasadzie polega działanie pomp wodnych w zwykłych studniach. Rysunek 73., który przedstawia przecięcie takiej studni, pozwala zrozumieć, bez dalszych objaśnień, ruch tłoka, grę klap, płynięcie wody, jakie powtarzają się w niej za każdem poru-


Rys. 72.


Rys. 73.

szeniem rękojeści ~~(pyszczek)~~. Budowa *sikawek* polega w zasadzie na urządzeniu podobnem.

Gdybyśmy zanurzyli rurkę z tłokiem (rys. ~~69~~ 72.) do rtęci, wiemy, że wciągnęlibyśmy ją na wysokość 76 *cm*, ale nie wyżej. Woda jest 13·5 razy mniej ciężka od rtęci, więc można podnieść w ten sposób wodę o wysokość 13·5×76 *cm* czyli o wysokość przeszło 10 metrów; ale nie wyżej. Zwyczajna pompa nie może podnieść wody o większą wysokość.

L. §§ 67., 68 i 69.:

§ 77. Lewar.



Rys. 75. Nowy 75

Rys. 74. Nowy 74

Weźmy rurkę szklaną zgiętą, jaką widzimy na rys. 74. Napełniamy ją wodą, zamykamy otwory A i C palcami i odwracamy rurkę zgięciem B do góry, wstawiamy ją do naczyń D i E, jak pokazuje rys. 75. Odejmujemy palec od otworu C, zanurzonego w wodzie w naczyniu D; ale trzymamy drugi palec na otworze A, znajdującym się w powietrzu. Wówczas ciecz w rurce CBA znajduje się w równowadze. Wyobraźmy sobie miejsce P wewnątrz rurki (CB), leżące w poziomie, na którym stoi ciecz w naczyniu D. Wyobraźmy sobie drugie miejsce M, leżące znów w tym samym poziomie, ale w kolanie BA. Powiadamy, że ciśnienie w cieczy w miejscach P i M jest jednakowe. Rzeczywiście P i M leżą w tym samym poziomie, zatem ciśnienie w nich musi być jednakowe, tak samo jak jest jednakowe na kwadracik a w § 57. (rys. 52.) i na kwadraciki sąsiednie. Wprawdzie kwadraciki sąsiadujące ze sobą w § 57., rys. 52., leżą tuż obok siebie w jednem naczyniu, tu zaś P i M łączą się tylko przez rurkę PBM; ale to nie stanowi różnicy, skoro ciecze mają własność rozszerzania we wszystkie strony działającego w nich ciśnienia (§ 52.). Wiemy teraz, że w P działa ciśnienie atmo

sferyczne, skoro ciecz w naczyniu D dokoła znajduje się na otwartem powietrzu. — A zatem powiadamy: w miejscu M działa ciśnienie atmosferyczne. W miejscu A (ośrodek cieczy) działa to samo ciśnienie, nadto ~~[illegible]~~ jeszcze przewyżka ciśnienia, odpowiadająca różnicy poziomów M i A, czyli nadto jeszcze ciężar kolumny M A cieczy. Obie te siły razem wzięte: ciśnienie atmosferyczne i ciężar kolumny MA, równoważymy oporem palca.

Odejmijmy teraz palec od otworu A; wówczas na powierzchnię cieczy w A działa ciśnienie otaczającego powietrza, czyli atmosferyczne. Rozumiemy łatwo ~~[illegible]~~, że kolumna MA nie może teraz pozostać w równowadze. Od góry działają na nią dwie siły ~~[illegible]~~: ciśnienie atmosferyczne i ciężar jej własny; od dołu działa tylko ciśnienie atmosferyczne. Woda ~~kolumna~~ musi popłynąć na dół.

Przyrząd tu opisany nazywa się *lewarem*; służy do przelewania jakiejbądź cieczy z naczyń wyżej ~~[illegible]~~ położonych do położonych niżej, bez poruszania ich z miejsca.

~~§ 59~~ §78. Powietrze usiłuje wyprzeć ciało zanurzone.

Skąd bierze się ciśnienie w powietrzu atmosferycznem? W naczyniu pełnem wody mamy ~~też~~ ciśnienie; ~~a mianowicie~~ wiemy (§ 56.), że wynika ~~(§ 59), że jest~~ ono poprostu z ciężaru wody. Czy taksamo jest w powietrzu? Czy powietrze ma ciężar? Rzeczywiście, powietrze ma ciężar; zaraz przekonamy się o tem a nawet zważymy powietrze.

Gdyby powietrze nie miało ciężaru, ani dym z komina ani para z kotła nie mogłyby podnosić się w powietrzu do góry. Istotnie: dlaczego korek w wodzie idzie do góry? Bo w jednakowej objętości jest lżejszy od wody (§ 61). ~~Więc~~ Widocznie dym i para w jednakowej objętości są lżejsze od powietrza, skoro w niem idą do góry. Gdyby powietrze nie miało ciężaru, dym i para nie mogłyby być lżejsze od powietrza.

Sprawdźmy to. ~~rozumowanie~~. W miastach sprzedają jako zabawkę kauczukowe baloniki. Sama kauczukowa powłoka w baloniku jest oczywiście cięższa od powietrza; ale gaz, którym balonik jest napełniony, tak zwany gaz oświetlający, jest lżejszy od powietrza; balonik więc idzie w powietrzu do góry z tegosamego powodu, z jakiego w wodzie idzie do góry próżna zakorkowana butelka. W taki sam sposób bywają urządzane wielkie *balony*, którymi ludzie wznoszą się w powietrze. Balonik taki, umieszczony pod dzwonem pompy pneumatycznej, wzlatuje aż do szczytu dzwonu; lecz opada natychmiast na talerz, skoro pod dzwonem zrobimy próżnię. Istotnie więc *ciało, zanurzone w powietrzu, doznaje parcia do góry, taksamo jak ciało, zanurzone w wodzie* (§§ 60 i 61.).

Abt. IV (Or. 3. 7^8
— 74. 7^5

§ 79. Pozorna strata na ciężarze w powietrzu.

Parcie, którego doznaje balonik jest większe niż jego ciężar; dlatego balonik wzlatuje do góry. Kawałek szkła albo metalu nie wzlatuje do góry w powietrzu, bo ciężar jego jest znacznie większy niż parcie do góry; zawsze jednak to parcie przeciwdziała ciężarowi t. j. pozornie go zmniejsza.

Zobaczmy, czy pozorna strata w powietrzu jest, tak jak w wodzie, tem większa, im większa jest objętość ciała. Weźmy małą ważkę, na której zrównoważyliśmy (rys. 100.) lekką, pustą w środku kulę ciężarkami, śrutem lub rtęcią. Zrównoważyliśmy ją w *powietrzu*; a ponieważ kula ma objętość większą niż ciężarki, więc powinna doznawać parcia do góry większego. Zatem *naprawdę* kula musi być cięższa niż ciężarki a równoważy się z nimi jedynie dzięki pomocy parcia powietrza. Istotnie: wstawmy ważkę pod dzwon pompy i wyciągnijmy powietrze; a zobaczymy, że strona ważki, po której wisi kula, przechyla się ku dołowi.



Rys. 100. 76.

§ 80. Ciężar powietrza.

Ciało, zanurzone w wodzie, traci pozornie na ciężarze tyle, ile waży woda, której miejsce zajmuje (§ 60). Zobaczmy, czy tosamo stosuje się do powietrza. Przypuśćmy, że kula w przyrządzie rys. 100 ma 1000 cm^3 czyli 1 litr objętości; dalej, że jest zrobiona z bardzo cienkiej blachy, tak że waży kilkanaście gramów. W takim razie ciężarki (które zazwyczaj bywają mosiężne) zajmują tylko kilka cm^3 i możemy pominąć parcie, którego doznają w powietrzu. Zrównoważywszy kulę w powietrzu, widzimy, jak powiedziano, że w próżni kula przeważa. Teraz, zrównoważywszy kulę w powietrzu, dodajmy jeszcze 1·2 grama po stronie ciężarków; wówczas w *powietrzu* ciężarki będą *przeważały*, ale *w próżni będzie właśnie równowaga*. To dowodzi, że ciężar kuli zmniejsza się w powietrzu wskutek parcia o 1·2 grama. Zatem litr powietrza musi *ważyć* 1·2 grama.

Rys. 77.

§ 81. Jak można zważyć powietrze

Żeby to sprawdzić, potrzeba dokładnej wagi oraz bani szklanej z kurkiem (rys. 101). Zapomocą pompy pneumatycznej usuwamy z bani powietrze; następnie, zamknąwszy kurek, zawieszamy banię na wadze i równoważymy ją śrutem lub rtęcią. Nareszcie otwieramy kurek i dokładamy ciężarków tyle, ile potrzeba do przywrócenia równowagi. Dołożymy w tym celu 1·2 grama, jeśli bania aż do kurka ma litr objętości. Zatem rzeczywiście: *litr zwykłego powietrza waży 1·2 grama*. Czy nie popełniliśmy tu jednak błędu, skoro bania, ważona w powietrzu, musiała tracić na ciężarze? Nie popełniliśmy błędu, bo nie szło nam o ciężar bani, lecz o *przybytek* [illegible] w jej ciężarze, spo-

wodowany tem, że weszło do niej powietrze. Ilekolwiek bania traciła na ciężarze, wszystko jedno, bo traciła zarówno w pierwszem, jak w drugiem ważeniu. Jeśli nie znamy objętości bani, ważymy ją po raz trzeci pełną wody. Ile gramów musimy teraz dołożyć (do śrutu lub rtęci, które równoważyły banię w pierwszem ważeniu), tyle cm^3 bania ma objętości. Podzieliwszy przybytek w ciężarze bani, spowodowany wejściem powietrza, przez objętość bani, znajdziemy zawsze 1·2 grama na każdy litr powietrza.

Powietrze ma zatem ciężar stosunkowo znaczny. Duży pokój może mieć długości i szerokości np. po 5 *m* a wysokości 4 *m*; w takim razie zawarte w nim powietrze waży 120 *kg*. Litr wody waży kilogram, zatem zwykłe powietrze jest około 833 razy mniej ciężkie niż woda t. j. ma gęstość $\frac{1}{833}$.

§ 82 ~~§ 71.~~ Gęstość a ciśnienie.

Wyobraźmy sobie litr powietrza atmosferycznego, np. nad rtęcią w rurce *A*, rys. 66. Mamy w nim, jak wiemy, 1·2 grama powietrza. Przypuśćmy, żeśmy powiększyli w dwójnasób objętość tego powietrza; zmusiliśmy tym sposobem 1·2 grama powietrza do rozejścia się po objętości dwóch litrów. Zatem w pierwszym litrze zostało tylko 0·6 grama powietrza; 0·6 grama powietrza przeszło do drugiego litra. Widzimy więc, że ciężar litra powietrza zmniejszył się do połowy i że gęstość powietrza zmniejszyła się do połowy. Powiadamy: *w jakim stosunku zwiększamy objętość pewnej ilości powietrza, w takim stosunku zmniejsza się jego gęstość.*

Lecz jeśli zmienia się objętość, którą zajmuje 1·2 grama powietrza, to zmienia się także jego ciśnienie. Zajmując jeden litr, 1·2 grama wywiera ciśnienie 76 *cm* rtęci; rozszerzywszy się do objętości podwójnej, będzie wywierał ciśnienie dwa razy mniejsze (§ 71.) Zatem, gdy gęstość powietrza zmniejszyła się do połowy, ciśnienie zmniejszyło się również do połowy. Możemy powiedzieć: ~~na zasadzie § 66.~~ *w jakim stosunku zmniejszymy gęstość pewnej ilości powietrza, w takim stosunku zmniejszy się jego ciśnienie.* Dlatego mówi się o powietrzu, które wywiera ciśnienie mniejsze niż atmosferyczne, że jest *rozrzedzone*

Powiadamy zatem: w danej objętości może być powietrza więcej lub mniej; jeśli jest go 2 gramy, ciśnienie jest dwa razy większe, niż jeśli jest go gram; jeśli jest go 3 gramy, ciśnienie jest trzy razy większe i. t. d.; każdy gram powietrza, znajdujący się w danej objętości, sprawia więc własne ciśnienie, czy w owej objętości są inne gramy powietrza, czy ich niema. Ciało, które ma wogóle podobne własności, nazywamy *ciałem gazowem* albo *gazem* ~~(lot)~~. Powietrze jest zatem przykładem ciała gazowego. Lecz, jak prócz wody jest wiele innych ciał ciekłych, podobnie prócz powietrza jest wiele innych ciał gazowych, np. tlen, wodór, bezwodnik węglowy i. t. d., o czem dowiemy się dokładniej z Chemii a poniekąd także z rozdziału czwartego.

§ 83. ~~§ 72.~~ O wysokości atmosfery.

Kula ziemska jest przykryta powłoką powietrza. Wejdźmy na wysoką wieżę, wstąpmy na szczyt góry, wznieśmy się balonem — znajdziemy tam wszędzie powietrze. A zatem żyjemy w głębi ogromnego oceanu powietrza, jak rośliny dna morskiego, które żyją w głębi ogromnego oceanu wody. Jak wysoko sięga ten ocean powietrza, ta *atmosfera,* jak go nazywają? Gdzie się ona kończy? Mimowoli nasuwa się takie pytanie.

Zdawałoby się, że można łatwo na nie odpowiedzieć. Wyobraźmy sobie 1 m^2, leżący poziomo na ziemi. Wiemy (§ 67.), że ciśnienie powietrza ciąży na nim ciężarem 10260 *kg*. A ponieważ ciśnienie powietrza wynika z ciężaru powietrza (§ 78), więc 10260 *kg* jest to ciężar słupa powietrza, który wznosi się na pod-

stawie 1 metra kwadratowego, od ziemi aż do krańców atmosfery. [redacted] metr sześcienny powietrza waży 1·2 *kg* (§ 70); zdawałoby się przeto, że wspomniany słup, ażeby módz pomieścić w sobie 10260 *kg* powietrza, powinien składać się z [redacted] 8550 sześcianów, mających każdy po metrze wysokości. Czy zatem atmosfera ma 8550 metrów wysokości? Bynajmniej tak nie jest; atmosfera sięga znacznie wyżej, jak to zaraz zobaczymy.

powierzchni

H 81. 49

Rzeczywiście: mnożąc 8550 przez 1·2, otrzymujemy 10260.

§ 84. ~~§ 73.~~ Im wyżej, tem ciśnienie mniejsze.

W wodzie, im głębiej, tem ciśnienie większe (§ 59); tak być musi, skoro ciśnienie w wodzie w pewnej głębokości wynika z ciężaru wody, powyżej leżącej. W powietrzu jest podobnie: ciśnienie w atmosferze w pewnej wysokości wynika z ciężaru powietrza, powyżej leżącego. A zatem *w miarę oddalania się od powierzchni ziemi ciśnienie powietrza musi być coraz mniejsze*; my zaś, na dnie atmosfery, mamy *największe* ciśnienie powietrza. Że tak jest, okazuje się w każdej podróży balonem. Przy wzlocie balonu, na powierzchni ziemi, barometr pokazywał (przypuśćmy) 76 *cm*; w takim razie będzie pokazywał:

na wysokości 1000 *m* nad ziemią.... około 67 *cm*
na wysokości 2000 *m* nad ziemią.... około 59 *cm*
na wysokości 5000 *m* nad ziemią.... około 41 *cm*.

Na wycieczkach w góry możemy też sprawdzić, przy pomocy barometru, że ciśnienie powietrza jest coraz mniejsze, w miarę jak wznosimy się wyżej i wyżej. Ażeby to unaocznić, pokazano, na rys. 78. wysokość, jaką miałby barometr u poziomu morza, na szczycie tatrzańskim Łomnicy, na górze Mont-Blanc i na górze Chimborasso.

Rys. 78.

Z tąd łatwo zrozumieć, że (na wycieczce górskiej) możemy sądzić o (naszem) wzniesieniu z wysokości, którą wskazuje barometr.

§ 85. ~~§ 74.~~ Im wyżej, tem powietrze rzadsze.

Jeśli *ciśnienie* w atmosferze jest coraz mniejsze, im dalej od ziemi, to powiadamy (na zasadzie § 71): *im dalej od ziemi, tem gęstość powietrza jest mniejsza, tem powietrze jest rzadsze.* Istotnie w górach i w balonie znajdujemy coraz rzadsze powietrze, im wyżej się wznosimy. Dlaczego nie dostrzegamy w wodzie podobnego przyrostu gęstości ku dołowi, np. w dużym zbiorniku? Bo woda jest nadzwyczaj mało ściśliwa (§ 45.). Ciężar wysokiego nawet słupa wody jest jeszcze zbyt słaby, ażeby mógł ścisnąć wodę w sposób dostrzegalny. Przeciwnie, powietrze jest znacznie bardziej ściśliwe niż woda (§ 65.).

(§ 82.):

A zatem słup wody jest ~~nieledwie~~ jakgdyby podobny do stosu cegieł, leżących na sobie a słup powietrza jest raczej podobny do stosu materaców sprężynowych, leżących na sobie: im który niżej leży, tem mocniej jest ściśnięty.

§ 86. Jeszcze raz o wysokości atmosfery.

Rozumiemy teraz, dlaczego otrzymaliśmy błędny wypadek, obliczając wysokość atmosfery w artykule 77-im. Obliczaliśmy, jak wysoki musi być słup, mający za podstawę $1 m^2$, ażeby mógł pomieścić 10260 *kg* powietrza. Gdyby 1·2 *kg* powietrza zajmował zawsze $1 m^3$, słup ten musiałby mieć, jak powiedzieliśmy, 8550 *m* wysokości. Ale 1·2 *kg* powietrza zajmuje 1 m^3 tylko tuż nad powierzchnią ziemi; im wyżej zaś, tem powietrze jest rzadsze, więc tem większą objętość brać trzeba, żeby znaleść w niej zawsze 1·2 *kg*. Idźmy w naszym słupie do góry, poczynając od ziemi (rys. 79.); dzielmy go na takie prostopadłościany, ażeby każdy mieścił w sobie 1·2 *kg* powietrza. Prostopadłościan, leżący tuż przy ziemi, jest sześcianem i ma metr wysokości. Prostopadłościan, leżący o 2000 metrów od ziemi, ma 1 *m* 27 *cm*; prostopadłościan, leżący o 5500 *m*, ma 2 *m* wysokości. Widzimy zatem, że na wysokości 2000 *m*, licząc od ziemi pionowo, nie pomieści się 2000 prostopadłościanów, lecz mniej; na wysokości 8550 *m* od ziemi nie pomieści się 8550 prostopadłościanów, nie pomieści się zatem 10260 *kg* powietrza. Atmosfera musi sięgać znacznie wyżej niż 8550 *m*, czyli niż 8·55 *km*.

Istotnie, zauważono, że chmury unoszą się w powietrzu na wysokościach, dochodzących niekiedy do 80 *km*. Z drugiej zaś strony wiadomo, że *meteoryty* poczynają świecić niekiedy w odległości 200 *km* od powierzchni ziemi. Ponieważ zaś poczynają one świecić wówczas, gdy rozgrzeją się dostatecznie skutkiem ogromnego tarcia i oporu, jaki im przeciwstawia powietrze (ogromnego dlatego, że prędkość, z jaką biegną, jest ogromna), przeto pokazuje się, że już nawet na wysokości 200 *km* nad ziemią musi istnieć powietrze, choć niewątpliwie nadzwyczaj rozrzedzone.

Ryś. 79.

// 83.

// 79

Od wiersza

50

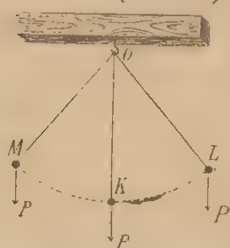
ROZDZIAŁ TRZECI.

O falach. O głosie.

§ 87.

§ ~~75~~. Ruch wahadła.

W artykule 15. poznaliśmy własności wahadła i ruchu wahadłowego. Przypominamy, że wahadło w położeniu OK (rys. 80.) wisi spokojnie; w każdem innem położeniu musi się poruszyć. W położeniu np. OL ciężkość kuli LP nie jest zrównoważona: kula poruszy się zatem i pocznie opadać ku położeniu K, poruszając się coraz prędzej (zob. § 35.) Tym sposobem kula nabywa pewnej energii; dzięki tej energii, czyli (jak mówiliśmy w Rozdziale pierwszym) przez bezwładność, kula nie zatrzyma się w miejscu K, lecz wzniesie się aż do M po stronie przeciwnej, dopóki energia, nabyta po drodze LK, nie wyczerpie się na pracę wznoszenia. Gdy to nastąpi, kula pocznie opadać, dojdzie do K, znów (przez bezwładność) przejdzie po za K, dojdzie do L i t. d. Ruch wahadła odbywałby się w taki sposób bez końca, gdyby jego energia nie rozpraszała się zwolna na otaczające przedmioty, na hak, belkę, powietrze, skutkiem tarcia, oporu i t. p. wpływów ubocznych.



Rys. 80.

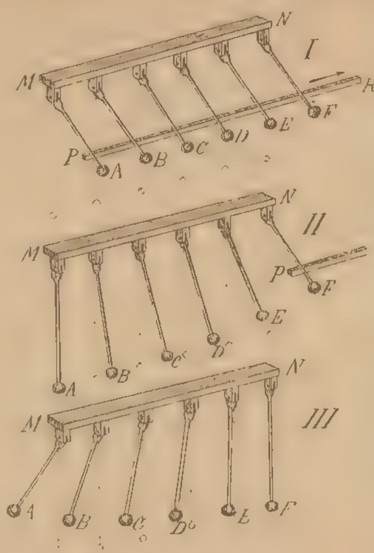
Jak widzimy, ruch wahadła wynika z działania ciężkości z jednej strony, *bezwładności wahadła* z drugiej.

88.

§ ~~76~~. Rozchodzenie się ruchu wahadłowego w szeregu wahadeł.

Pod deseczką MN (rys. 81, I.) zawieszamy szereg wahadeł: A, B, C, D, E, F i odchylamy je wszystkie razem przy pomocy pręta PR, podstawionego pod druty wahadeł. Przypuśćmy,

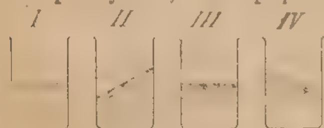
że wysuwamy pręt PR z pod wahadeł w kierunku, jaki pokazuje strzałka. Wahadła zaczynają opadać ku pionowym swym położeniom, które na rys. 81, I. widzimy kropkowane; dobiegłszy do nich, poruszają się dalej, podnoszą się po stronie przeciwnej, jednem słowem *odbywają ruch wahadłowy*, podobnie jak wahadło OK w artykule poprzednim. Lecz pręta PR nie wysunęliśmy *odrazu* z pod wszystkich wahadeł; wysunęliśmy go naprzód z pod A, chwilę później z pod B i t. d. Zanim przeto wahadło B rozpoczęło swą drogę, A już część swojej drogi odbyło. Na rys. 81, II widzimy chwilę, gdy A przebiega przez położenie pionowe, gdy B, C, D, E biegną na lewo, ku swoim położeniom pionowym, zaś F dopiero rozpoczyna swą drogę na lewo. Na rys. 81, III widzimy nieco późniejszą chwilę, gdy A już zawraca i zaczyna drogę powrotną na prawo, gdy B, C, D, E, przebiegłszy po za położenia pionowe, wznoszą się jeszcze ku górze, zaś F przebiega właśnie przez swe położenie pionowe. Zatem, widzimy, że, jeśli A w pewnej chwili jest w pewnem położeniu, to chwilę później B będzie w takiemsamem położeniu, chwilę później będzie w niem C i t. d. Powiadamy więc, że tu w szeregu wahadeł ruch wahadłowy *postępuje*, posuwa się czyli *rozchodzi się* z pewną prędkością. Istotnie: potrzeba na to pewnego czasu, ażeby którekolwiek położenie (np. największe wychylenie na lewo) udzieliło się od wahadła A aż do wahadła F t. j. ażeby posunęło się ono o odległość AF. Widzimy dalej, że same wahadła, wahając się, nie posuwają się ani ku jednemu ani ku drugiemu końcowi deseczki MN; wahają się one *poprzecznie* czyli prostopadle do kierunku MN. Tylko ruch ich, *ruch wahadłowy*, posuwa się czyli postępuje w kierunku MN.



Rys. 81.

§ 89. Ruch wahadłowy wody.

Woda w szklance ma powierzchnię poziomą, dopóki jest w spoczynku; ale popchnijmy szklankę po stole a powierzchnia pocznie się zaraz kołysać: z poziomej (rys. 82, I) staje się pochyłą (II), ale tylko przez nadzwyczaj krótką chwilę, gdyż zawraca natychmiast w stronę przeciwną (III, IV). Albowiem woda nie może *trwać* w położeniu pochyłem, jakie wyobraża np. rys. 82, II; dlaczego, wytłómaczyliśmy to już w § 58. A zatem woda popłynie ze strony prawej na lewą, przybierze położenie III na rys. 82, lecz nie pozostanie w tem położeniu (jakkolwiek to jest położenie równowagi); nie pozostanie w niem przez bezwładność, zupełnie podobnie jak wahadło przez bezwładność przebiega po za położenie pionowe (§ 87). Woda przybierze więc położenie IV na rys. 82, poczem znowu »zawróci«, przyjmie napowrót położenie III, II, I i t. d., aż opór i tarcie nie odbierze wodzie energii i nie uspokoi jej wahań.

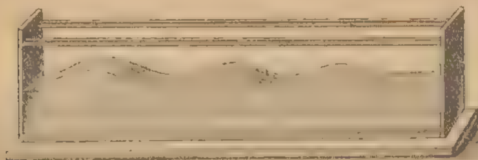


Rys. 82.

Widzimy, że wahanie się wody wynika podobnie z działania ciężkości i *bezwładności* wody, jak wahanie się wahadła wynika z działania ciężkości i bezwładności wahadła.

§ 90. / ~~§ 71.~~ Rozchodzenie się ruchu wahadłowego wody.

Weźmy długie koryto pełne wody (rys. ~~109~~). Koryto takie możemy uważać jak gdyby za (szereg szklanek, połączonych ze sobą. A zatem, jak przeszliśmy poprzednio od ruchu jednego wahadła do rozchodzenia się ruchu wahadłowego w szeregu wahadeł, podobnie możemy przejść

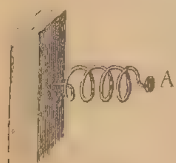


Rys. ~~108~~ 83.

teraz od ruchu wahadłowego wody w prostej szklance do rozchodzenia się takiegoż ruchu w długiem korycie. Upuśćmy nagle nieco wody na powierzchnię wody u jednego końca koryta; w ten sposób wprawiamy tam wodę w ruch wahadłowy. Ruch ten udziela się dalej i rozchodzi się po całem korycie; widzimy wtedy *falę* ~~(fala)~~, która biegnie po powierzchni. Posypmy powierzchnię wody miałem korkowym lub drzewnym; zobaczymy, że pływające cząsteczki podnoszą się i opadają, gdy fala przebiega, ale nie posuwają się ani naprzód, ani wstecz. A zatem, gdy fala przebiega, nie sama woda posuwa się naprzód, lecz tylko jej kołysanie się, jej ruch wahadłowy posuwa się naprzód czyli *postępuje* wzdłuż koryta. Podobnie, gdy na powierzchnię wody w stawie lub rzece rzucimy kamień, wstrząśnienie powierzchni rozchodzi się we wszystkich kierunkach; a dlatego widzimy fale w postaci kół, rozbiegających się po powierzchni.

§ 91. Drganie sprężyny

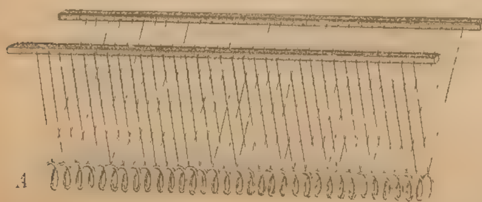
Weźmy krótką sprężynkę ~~(sprężynkę)~~, zrobioną przez skręcenie drutu koło rury, umocujmy ją na jednym końcu (rys. ~~109~~ 84) a na drugim przytwierdźmy kawałek papieru *A* dla uwidocznienia ruchu sprężyny. Jeśli sprężynę ściśniemy, budzi się w niej siła sprężystości; zatem, gdy ją puścimy, sprężyna nie pozostanie ściśnięta, lecz pocznie powracać do pierwotnej długości; a gdy ~~ją osiągnie~~ do niej powróci, wydłuży się jeszcze nieco przez bezwładność. Znak *A* będzie się poruszał na lewo i na prawo, będzie się *wahał*, podobnie jak kula wahadła, jak kawałek korka na kołyszącej się wodzie. Wahanie się ~~tego~~ znaku A będzie więc wynikiem spółdziałania *sprężystości* sprężyny oraz *bezwładności* sprężyny i znaku. Poznaliśmy poprzednio ruch wahadłowy, wynikający ze spółdziałania *ciężkości i bezwładności*; obecnie poznajemy ruch wahadłowy, który wytwarzają: *sprężystość* i *bezwładność*.



Rys. ~~111~~ 84.

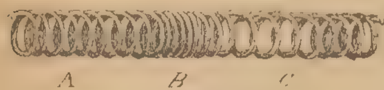
§ 92. ~~Fala~~ Rozchodzenie się drgania w sprężynie.

Zróbmy teraz podobną, lecz długą sprężynę, mającą n. p. około 2 *m* długości. (Dobrze jest wziąć drut miedziany o grubości 2*mm*, każdemu skrętowi dać około 7 *cm* średnicy i zrobić około 70 skrętów na długości 2 *m*). Zawieśmy sprężynę, jak na rys. ~~110~~ 85. Uderzając koniec *A* młotkiem, ściśniemy najprzód tylko kilka pierwszych skrę-



Rys. ~~110~~ 85.

tów sprężyny; lecz ściśnięcie to udziela się niebawem dalej i biegnie przez sprężynę aż do drugiego jej końca. Powtórzmy to doświadczenie, przyglądając się uważnie któremukolwiek *jednemu* miejscu sprężyny. Uważana cząstka sprężyny pozostaje w spoczynku, dopóki ściśnięcie do niej nie doszło; gdy doszło, ściska się raptownie, następnie zaś powraca do zwykłej postaci, przekazując ściśnięcie skrętom następnym; sama jednak, skoro powróci do zwykłej postaci, nie wydłuża się po za nią, nie rozciąga się, albowiem oddała energię całkowicie skrętom następnym, zużyła ją ~~całkowicie~~ na ściśnięcie następnych. A zatem samo tylko *ściśnięcie*, ~~([illegible])~~ bez rozciągnięcia, udziela się tu od końca do końca sprężyny. Możemy powiedzieć, że jedno *ściśnięcie* przebiegło sprężynę. Gdybyśmy, przeciwnie, byli pociągnęli koniec A ku sobie, zamiast uderzyć go młotkiem, bylibyśmy rozciągnęli w pierwszej chwili kilka pierwszych skrętów i *rozciągnięcie* ~~([illegible])~~ bez ściśnięcia byłoby przebiegło sprężynę. Pociągnijmy prędko scyzorykiem po skrętach sprężyny: jednocześnie ściśniemy kilka skrętów i rozciągniemy kilka następnych, tak iż, jedno za drugiem, ściśnięcie (B) i rozciągnięcie (C) przebiegają sprężynę ~~(Rys. 111.)~~ (Rys. 86.)



Rys. ~~111.~~ 86.

§ 93. Fale w sprężynie

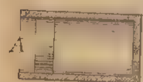
Opisaliśmy przejście jednego ściśnięcia, lub jednego rozciągnięcia, przez całą sprężynę. Wyobraźmy sobie ~~teraz~~, że, uderzywszy koniec A młotkiem i wytworzywszy tym sposobem ściśnięcie, które przebiega sprężynę, uderzamy koniec A po raz drugi; n. p. w tej chwili, w której ściśnięcie, wywołane przez pierwsze uderzenie, obejmuje skręt dziewiąty, dziesiąty i jedenasty. Dwa ściśnięcia będą teraz przebiegały sprężynę; drugie będzie biegło za pierwszem w stałym odstępie, wynoszącym około 10 skrętów. Jeśli będziemy dalej uderzali podobnie koniec sprężyny, wywołamy w niej szereg ściśnięć, biegnących jedno za drugiem. Takie zjawisko nazywamy rozchodzeniem się fali ściśnięcia w sprężynie. Zupełnie podobnie fala rozciągnięcia będzie przebiegała sprężynę, jeżeli będziemy pociągali ku sobie koniec sprężyny w pewnych stałych odstępach czasu

Możemy też i w następujący sposób pobudzać sprężynę: uciskamy ją u końca, następnie wyciągamy, znów uciskamy i tak dalej; naprzemian uciskamy i wyciągamy koniec sprężyny; poruszamy go więc w sposób wahadłowy *wzdłuż* sprężyny t. j. w kierunku rozchodzenia się fal, lub (jak się mówi) *podłużnie*. ~~([illegible])~~ Wówczas przez sprężynę pobiegnie szereg ściśnięć i rozciągnięć, jednych za drugiemi. Możemy powiedzieć, że w sprężynie rozchodzi się *jednocześnie* fala ściśnięcia i fala rozciągnięcia; fale takie nazywamy ogólnie *falami podłużnemi*

§ 94. ~~§ 89.~~ Fala w powietrzu.

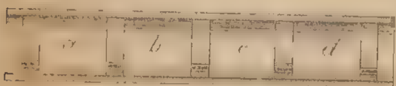
Powietrze jest również ciałem sprężystem; w powietrzu ściśniętem budzi się siła sprężystości, podobnie jak w sprężynie ści-

śniętej. Tłok n. p. *A* bardzo lekki (rys. ~~112~~), wepchnięty nagle do rurki, poruszałby się dzięki sprężystości powietrza naprzód



Rys. ~~112~~ 87.

i wstecz, podobnie jak znak *A* na sprężynie (rys. ~~109~~), gdyby nie przeszkadzało mu tarcie o ścianki. Wyobraźmy sobie rurę pełną powietrza i w niej szereg tłoków ruchomych (rys. ~~113~~). Ściśnięcie powietrza w pierwszej przegródce *a* udzieli się niebawem dalszym przegródkom *b*, *c*, *d* t. j. pobiegnie przez rurę aż do drugiego jej końca, podobnie jak ściśnięcie kilku pierwszych skrętów w sprężynie



Rys. ~~113~~ 88.

(rys. ~~110~~) pobiegło przez nią aż do drugiego jej końca. Nie możemy tego osiągnąć istotnie w podobnym przyrządzie, z powodu tarcia o ścianki i różnych oporów. Ale wyobraźmy sobie, że niema tarcia i oporów; wówczas moglibyśmy nie tylko jedno ściśnięcie albo rozrzedzenie przesłać przez kolumnę powietrza *abcd*, moglibyśmy wytworzyć w niej *falę* ściśnięcia, albo *falę* rozrzedzenia, albo ~~wogóle~~ *falę podłużną*, złożoną z jednej i z drugiej, podobnie, jak wytwarzaliśmy je w długiej sprężynie. Rozchodzenie się tych fal w kolumnie powietrza byłoby skutkiem dwóch własności powietrza: 1) bezwładności powietrza i 2) sprężystości, okazywanej przez powietrze ~~przy~~ ściskaniu ~~i przy~~ lub rozrzedzaniu czyli *objętościowej sprężystości* albo *ściśliwości* powietrza (§§ 64., 65., 66).

Takie właśnie fale podłużne biegną zawsze przez otwarte powietrze, pomimo, iż nie jest ono ujęte w żadne stałe przegrody, ile razy w niem rozchodzi się *głos*. ~~(...)~~

§ 95. ~~§ 81~~. Powstawanie głosu.

Uderzmy brzeg dzwonu lub pociągnijmy po nim smyczkiem; słyszymy *głos*. Skąd głos powstaje? Możemy łatwo dowieść, że dzwon *drga*, dopóki głos się rozlega. Czujemy drganie ~~(...)~~ dzwonu, dotykając go ostrożnie palcem lub ustami; jeśli dotkniemy za mocno, stłumimy drganie i zaraz też umilknie głos, który słyszymy. Zbliżajmy lekkie wahadełko (rys. ~~114~~ 89.) do dzwonu, wydającego głos; będzie ono odskakiwało, potrącane raz wraz przez drgający dzwon. Struna dźwięcząca podrzuca lekkie skrawki papieru czyli »koniki«, które pozawieszaliśmy na niej; wygląda też jak gdyby grubsza, dopóki wydaje głos. Widzimy więc, że *każde ciało drga, gdy wydaje głos*.



Rys. ~~114~~ 89.

§ 96. ~~§ 82~~. Głos rozchodzi się w powietrzu.

Jeśli drgający dzwon znajduje przed sobą palec, uderza o palec; jeśli spotyka wahadełko, uderza o wahadełko; a że zazwyczaj znajduje przed sobą powietrze, więc uderza o powietrze t. j. ściska czyli zgęszcza pierwszą, przylegającą warstwę powietrza. To ściśnięcie czyli zgęszczenie udziela się dalej, jak w sprężynie (rys. ~~110~~ 85), jak w rurce *abcd* (rys. ~~113~~) i tym sposobem w powietrzu rozchodzi się pierwsze *zgęszczenie*. ~~(...)~~ Ale tymczasem dzwon, odbywając drugą część drgania, poczyna się cofać i pociągać za sobą czyli rozrzedzać pierwszą, przylegającą warstwę powietrza; tym sposobem w powietrzu rozchodzi się pierwsze *rozrzedzenie*, ~~(...)~~ które biegnie tuż zaraz za pierwszem zgęszczeniem, po-

dobnie jak biegło za niem w sprężynie, w której rozchodzi się fala, (§ 79). Dzwon jednak, ukończywszy pierwsze wahnięcie, rozpoczyna drugie, przez co poczyna znów zgęszczać warstwę przylegającego powietrza, t. j. wysyła »drugie zgęszczenie«. Zupełnie podobnie wyśle następnie »drugie rozrzedzenie«, następnie »trzecie zgęszczenie«, »trzecie rozrzedzenie« i t. d. Od dzwonu pobiegnie więc w każdym kierunku fala podłużna w powietrzu, złożona ze zgęszczeń i rozrzedzeń, kolejno za sobą idących; że taka fala pobiegnie w każdym kierunku, utworzy się więc fala *kulista*, w której postępujące zgęszczenia i rozrzedzenia mają kształt powierzchni kulistych; podobnie, na powierzchni wody wstrząśnienia rozbiegają się w postaci kręgów czyli kół.

Gdy fala, biegnąca w powietrzu, dojdzie naszych uszu (lub dokładniej naszego nerwu słuchowego), wówczas słyszymy *głos*. Istotnie też nie słyszymy wcale głosu dzwonka, zawieszonego wewnątrz bani szklanej, jeśli z tej bani wyciągniemy powietrze. Zatem powiadamy: gdy słyszymy głos, wtedy ~~odbywa się~~ poza obrębem naszej osoby | tylko *ruch* pewnego rodzaju, mianowicie *falowanie* ~~(kolysanie)~~ *powietrza*. Głos, który słyszymy, jest naszem *wrażeniem* ~~(uczuciem)~~, wywołanem przez to falowanie, podobnie jak ból, którego doznajemy, gdy ktoś uderzył nas laską, jest naszem wrażeniem, wywołanem przez ruch laski i jej uderzenie.

| odbywa się

§ 97. Energia falującego powietrza.

Powietrze, w którem rozchodzi się głos, odbywa pewien ruch a więc musi mieć dzięki temu pewną *energię*. Istotnie: gdy strzelają z armat lub gdy rozlega się huczna muzyka, szyby w oknach drżą czyli »dzwonią«. Skutkiem bardzo potężnych wybuchów powstaje huk tak straszny, że pod naciskiem falującego powietrza szyby pękają, ściany się załamują a ucho ludzkie, jeśli znajdzie się na drodze, łatwo może uledz uszkodzeniu. Falowanie powietrza może więc wykonać pracę; powietrze, w którem rozchodzi się głos, ma tem samem pewną energię. Powiadamy, że głos jest *słaby* albo *cichy* ~~(cześciй, тихий)~~, jeśli falowanie roznoszącego go powietrza posiada energię nieznaczną; jeśli przeciwnie energia falowania jest znaczna, mówimy, że głos jest *mocny*, *głośny*, *donośny* ~~(сильный, громкий)~~. Od energii falowania zależy więc własność głosu, zwana *natężeniem*. ~~(сила)~~

§ 98. ~~§ 88~~. Prędkość rozchodzenia się głosu.

W zwykłem powietrzu fale rozchodzą się z prędkością 340 *m* na sekundę. To znaczy, że, jeżeli powietrze pocznie falować w jakiemkolwiek miejscu, wówczas faluje ono o 340 *m* dalej od tego miejsca po upływie jednej sekundy. A zatem i głos w zwykłem powietrzu rozchodzi się z prędkością ~~(скорость)~~ 340 *m* na sekundę. Niechaj jedna osoba *A* stanie w ~~widnem~~ miejscu, n. p. na małem wzniesieniu; druga osoba *B* niechaj oddali się od niej o 340 metrów. Przypuśćmy, że *A* uderza młotem w dzwon lub też rąbie drzewo, podnosząc za każdym razem młot czy siekierę wysoko do góry; *B zobaczy* wówczas ruch ręki o całą sekundę wcześniej, zanim *usłyszy* głos, powstający z uderzenia. Jeszcze lepiej byłoby w porze nocnej strzelić z pistoletu; błysk wystrzału dobiega wcześniej niż huk; pochodzi to stąd, iż światło biegnie nadzwyczajnie, niezmiernie szybko (zob. rozdz. VI.), głos zaś biegnie z prędkością 340 *m* na sekundę. Zapomocą takich doświadczeń uczeni wymierzyli dokładnie prędkość rozchodzenia się głosu. Gdy piorun uderza, spostrzegamy błyskawicę prawie natychmiast po uderzeniu, grzmot zaś zazwyczaj słyszymy dopiero o parę sekund później; albowiem, jeśli uderzenie nastąpiło n. p. w odległości 1 *km* od nas, głos zużywa blizko 3 sekundy na przebieżenie w powietrzu tej odległości.

Γ widocznem

Od wiersza

56.

§ 99. Jeszcze o sposobie rozchodzenia się głosu w powietrzu.

~~Jeszcze raz tu widzimy~~ Z poprzedzającego artykułu wnosimy ponownie, że rozchodzenie się głosu polega na rozchodzeniu się pewnego wstrząśnienia w powietrzu a nie na rozchodzeniu się samego powietrza. Gdy strzelimy z armaty, głos czyli wstrząśnienie powietrza znajduje się już po upływie sekundy w odległości 340 m od miejsca wystrzału; tymczasem dym, wyrzucony z armaty, znajduje się po upływie sekundy w odległości zaledwie kilku metrów od wylotu działa. Wyobraźmy sobie bardzo gęsty tłum ludzi; posłaniec zdoła z trudnością tylko i powoli poruszać się naprzód w tym tłumie; tymczasem list, podawany z rąk do rąk, albo wiadomość, podawana z ust do ust, biegnie w nim z wielką prędkością. Podobnie pewna ilość powietrza lub dymu przeciska się z trudnością i stosunkowo powoli przez otaczające powietrze; ale wstrząśnienie powietrza, podawane z warstw do warstw, rozbiega się w niem z ogromną prędkością.

§ 100. ~~§ 94.~~ Rozchodzenie się głosu w ciałach stałych. [redacted]

Fala podłużna może biedz przez każde ciało sprężyste a zatem i głos może rozchodzić się w każdem ciele sprężystem. Połóżmy n. p. zegarek na końcu długiego stołu; nie słyszymy chodu zegarka przez powietrze, tymczasem, przyłożywszy ucho do drugiego końca stołu, słyszymy go wyraźnie. Połączmy dwa lekkie pudełka drewniane zapomocą sznurka. Niechaj ktoś z jednem pudełkiem odejdzie na odległość kilku lub kilkunastu metrów, aż się sznurek wypręży i niechaj mówi do pudełka, nie podnosząc głosu; nie usłyszymy mowy przez powietrze ale usłyszymy ją, przyłożywszy ucho do drugiego pudełka. Stukanie o słup telegraficzny słychać wyraźnie w słupie sąsiednim; górnicy mogą porozumiewać się ze sobą pukaniem przez ogromne pokłady węgla lub innych minerałów.

§ 101. Rozchodzenie się głosu w cieczach.



Głos może również rozchodzić się w cieczach. Zanurzywszy duży dzwon metalowy do rzeki lub stawu, uderzajmy go pod wodą za pomocą stosownego młotka. Można wówczas słyszeć głos dzwonu, nawet na stosunkowo znacznej odległości, posługując się rurą lejkowatą, jaką wyobraża rys. ~~115~~ 90.

Rys. ~~115~~ 90.

Energia fal głosowych, rozchodzących się w wodzie, udziela się powietrzu, zawartemu w rurze UB, przez pośrednictwo błony sprężystej B, którą otwór B jest mocno obwiązany; do drugiego otworu U przykładamy ucho. Wyobraźmy sobie, że wykonano to doświadczenie w sposób następujący: młotek, uderzający o dzwon, jest tak urządzony, że w chwili każdego uderzenia wysyła jakikolwiek *sygnał* świetlny, n. p. zapala nieco prochu i sprawia tym sposobem krótki i nagły błysk za każdem uderzeniem. *Słuchając* (za pomocą

§ 102. O ~~§ 85. Odgłos~~ Odbijaniu się fal.

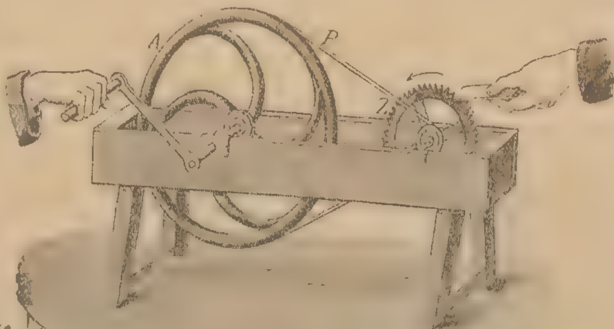
Umocujmy jeden koniec długiej sprężyny (rys. 40) zupełnie ~~stale~~, przytwierdźmy go n. p. do ściany i spróbujmy z drugiego końca wzbudzić w sprężynie falę. Fala powstaje, przebiega sprężynę, lecz, gdy dojdzie do ściany, zawraca i biegnie po sprężynie napowrót. Jak piłka, rzucona o ścianę, odskakuje i biegnie napowrót, tak fala w sprężynie cofa się od ściany; ~~napowrót;~~ powiadamy, że fala *odbija się* od ściany. Podobnie mogą odbijać się fale w powietrzu; ściany budynków, skały w dolinie, brzegi gęstego lasu odbijają fale w powietrzu i dlatego *odsyłają* głos. Powierzchnia wody odbija również głos; na jeziorze lub stawie słychać mowę lub śpiew dalej niż na lądzie. Ciała porowate, jak tkaniny, kobierce i t. p., *tłumią* głos, ponieważ odbierają energię falowania powietrzu, które obficie w sobie zawierają; ~~a nie są same~~ dość sprężyste, żeby wysyłać nowe fale.

§ 103. Odgłos.

Głos przebiega w powietrzu 340 *m* w ciągu sekundy. Przypuśćmy, że stoimy przed ścianą, odbijającą głos doskonale, w odległości (dajmy na to) 3 *m* od niej. Jeśli wymówimy n. p. »*a*«, głos, który wydaliśmy, pobiegnie ku ścianie, odbije się i powróci do nas w ciągu $\frac{1}{57}$-ej części sekundy; albowiem tyle czasu potrzeba fali do przebycia 6 *m* w powietrzu. Ale samo wymówienie »*a*« trwa dłużej niż $\frac{1}{57}$-mą część sekundy; wymówienie »*a*« trwa od $\frac{1}{5}$ do $\frac{1}{10}$ części sekundy mniej więcej. A zatem odbijanie się głosu od ściany bliskiej może wzmacniać lub nieco przedłużać brzmienie, lecz nie wytworzy *echa* lub *odgłosu* ~~([illegible])~~ czyli głosu wyraźnego, odosobnionego, powstającego przez odbicie. Echo powstaje, kiedy głos odbity powraca do miejsca wydania nie tylko po rzeczywistem skończeniu się pierwszego głosu, ale i po przebrzmieniu go w uchu.

§ 104. ~~§ 86.~~ Głos urywany, głos ciągły.

Jeśli uderzymy laską o podłogę, powstaje głos krótki, urwany, który nazywamy stuknięciem. Przypuśćmy, że stukamy laską raz po raz, n. p. trzy razy w ciągu każdej sekundy; słyszymy wówczas wyraźnie każde uderzenie z osobna. Próbujmy teraz stukać coraz ~~prędzej~~ częściej; wówczas jest ~~nieco~~ trud-



Rys. ~~116~~ 91.

niej pochwycić każde uderzenie z osobna. Poręcze na moście lub na schodach składają się często z gęstego szeregu prętów żelaznych; biegnijmy wzdłuż takiej poręczy i prowadźmy po niej koniec ~~naszej~~ laski. Uderzenia następują tak szybko po sobie, że nie odróżniamy już każdego z osobna, lecz słyszymy ***głos ciągły***. Doświadczenie to wykonamy lepiej przy pomocy koła zębatego Z (rys. ~~110~~); można obracać je bardzo prędko, poruszając koło A, które przenosi ruch na koło Z przy pomocy pasa P. Przyłóżmy metalową blaszkę lub kartę tektury do zębów koła Z; każdy ząb, przechodząc, będzie ją uderzał. Obracając powoli, słyszymy każde uderzenie z osobna; obracając prędzej, słyszymy głos ciągły, w którym rozpoznać przerw nie jesteśmy w stanie. Przypuśćmy, że na kole Z znajduje się 60 zębów. Jeśli obracamy tak powoli, że koło to wykonywa jeden obrót w ciągu dwóch sekund, wówczas karta otrzymuje 30 uderzeń w ciągu sekundy. Przekonamy się, że to jest mniej więcej granica, gdzie pojedyncze uderzenia łączą się w głos ciągły: obracając powolniej, słyszymy urwane głosy kolejnych uderzeń; obracając prędzej, słyszymy głos ciągły, bez przerw, czyli jednolity.

§ 105. ~~§ 87.~~ Dźwięk; ~~wysokość dźwięku~~ głosy bezładne.

H 91

Jeśli zęby na kole Z (rys. ~~110~~) są równe i jeśli obracamy koło jednostajnie, wówczas kolejne uderzenia nie łączą się w bezładny hałas i brzękanie, lecz tworzą ***dźwięk*** [illegible] czyli głos równy, stały; taki głos wydają też instrumenta muzyczne, taki wydajemy, śpiewając lub wymawiając samogłoski. A zatem dźwięki ~~różnią się od innych głosów tem, że~~ powstają z wstrząśnień równych i regularnych, t. j. powtarzających się w równych odstępach czasu. Przeciwnie wszelkie inne głosy (brzęk, trzask, stukanie, pukanie) powstają z uderzeń krótkich, niejednakowych i nieregularnych. Gdy takie głosy rozchodzą się w powietrzu, wówczas biegnie w niem bezładna gromada ściśnięć i rozrzedzeń. Przeciwnie dźwiękom odpowiadają fale prawidłowe, w których ściśnięcia i rozrzedzenia podążają za „ „ odstępach stałych.

§ 106. Wysokość dźwięku

H 92

Niechaj koło Z (rys. 111 ~~110~~) ma 60 równych zębów. Obracajmy je tak, ażeby jeden obrót ~~jego~~ trwał mniej więcej sekundę. Usłyszymy wówczas dźwięk *nizki*, jaki wydają n. p. zazwyczaj organy, lub bas w orkiestrze. Obracajmy przeciwnie koło Z bardzo prędko, ażeby dokonywało n. p. 50, 60 lub 70 obrotów na sekundę; usłyszymy wówczas dźwięk ostry, *wysoki*. Skrzypce wydają dźwięki wysokie na najcieńszej strunie, dźwięki zaś nizkie na grubej. Fortepian po lewym końcu klawiatury wydaje dźwięki nizkie, a po prawym — wysokie. Dorosły mężczyzna mówi głosem nizkim, a dziecko — wysokim. Gdy jeden obrót koła Z trwał sekundę, głos powstawał z 60 uderzeń na sekundę; gdy zaś na sekundę przypadało 50, 60 lub 70 obrotów, głos powstawał z 3000, 3600 lub 4200 uderzeń na sekundę. Powiadamy zatem: kilkadziesiąt wstrząś-

Od wiersza

nień na sekundę daje dźwięk nizki, kilka tysięcy wstrząśnień na sekundę daje dźwięk wysoki.

Przypuśćmy, że mamy pewien dźwięk, n. p. złożony z 240 uderzeń na sekundę. W takim razie dźwięk, powstający z 480 uderzeń na sekundę, choć jest wyższy od pierwszego, ma przecież [redacted] szczególne do niego podobieństwo, które słuch wprawny natychmiast poznaje. Mówi się w muzyce, że dźwięk taki jest *wyższą oktawą* pierwszego; że pierwszy na odwrót jest niższą oktawą drugiego.

ROZDZIAŁ CZWARTY.

O cieple.

§107. ~~§ 88.~~ Ciała zimne, ciała gorące.

Gdy włożymy rękę w śnieg, czujemy zimno; gdy trzymamy ją nad płomieniem, czujemy gorąco. Jeżeli włożymy kawałek żelaza w śnieg albo w płomień, możemy być pewni, że żelazo doznaje tam także pewnego działania, albowiem ulega pewnym zmianom, nabiera nowych własności; n. p. w płomieniu staje się samo gorące, poczyna być czerwone lub białe, świeci w ciemności. ~~Podobnie~~ Woda w naczyniu, wstawiona do płomienia, staje się gorącą a kiedy stanie się bardzo gorącą, zaczyna się gotować czyli *wrzeć* ~~(wrzeć)~~. Stając się przeciwnie, bardzo zimną, woda *zamarza* t. j. zamienia się w lód. Wosk ogrzewany topi się; papier ogrzewany zwęgla się lub też się zapala. A zatem ciała, jak śnieg albo płomień, sprawiające na nas wrażenie zimna lub gorąca, *działają nie tylko na nas*, lecz też i na inne ciała, mianowicie oziębiają je, ogrzewają je i sprawiają w nich zmiany rozmaite.

§ 108. W jaki sposób działają ciała gorące i zimne

Poznajmy dokładniej, w jaki sposób ciała gorące ogrzewają inne ciała. Nalejmy do szklanki chłodnej wody i włóżmy do niej gorący kawałek żelaza; po chwili woda jest letnia lub ciepła, lecz i żelazo jest także letnie lub ciepłe; a zatem woda się ogrzała, ~~lecz~~ żelazo zaś ostygło. Piec napalony, podobnie, ostyga powoli w pokoju a jednocześnie powietrze w pokoju ogrzewa się. *Ciała gorące, ogrzewając inne ciała, same stygną.*

Od wiersza: Dlaczego nie widzimy, aby płomień ostygał, gdy grzeje? ponieważ w płomieniu palą się coraz nowe ilości ciała płonącego (dlatego świeca i nafta w lampie się wypala), przez co w płomieniu tworzy się coraz nowe gorąco.

Od wiersza: Podobnie też *ciała zimne, oziębiając, ogrzewają się same.* Jeżeli wlejemy wosk roztopiony do wody lodowatej, zobaczymy, że woda oziębia go bardzo znacznie (tak, iż wosk krzepnie natychmiast) ale sama staje się przytem mniej zimną.

§109. ~~§ 89.~~ Ciepło.

Ogrzewajmy płomieniem wodę lodowatą, do której od czasu do czasu wkładamy ~~włożyliśmy~~ rękę. Woda staje się stopniowo coraz mniej zimną; po niejakim czasie ~~już~~ nie wydaje się już zimną ale jeszcze nie ~~jest~~ gorącą, później zaczyna być letnią, następnie ciepłą, nareszcie gorącą. Zatem widzimy, że *zimno* nie jest czemś różnem i odrębnem od *gorąca*. Woda, która ma w sobie mało ciepła, jest zimna; woda, która ma dużo ciepła, jest gorąca.

Przez *doprowadzanie* ciepła (z płomienia) zamieniliśmy wodę bardzo zimną na mniej zimną. Kiedy doprowadziliśmy jej dość ciepła, wydawała się ~~ręce~~ obojętną t. j. ani zimną, ani gorącą; wówczas woda była równie ciepła jak ręka. Kiedy doprowadziliśmy jeszcze więcej ciepła, woda była cieplejsza od ręki i wydawała się gorącą. Zatem n. p. chłodna woda wydaje się chłodną dlatego, że jest mniej ciepła od ręki. Istotnie: potrzymajmy rękę najprzód w wodzie lodowatej a zobaczymy, że tasama woda, która wydawała się chłodną, sprawi teraz wrażenie ciepłej. Przeciwnie, potrzymajmy rękę najprzód w wodzie gorącej a przekonamy się, że tasama woda wyda się zimną. Nie należy więc wogóle mówić, że

jakieś ciało jest zimne lub że jest gorące; lecz raczej, że jest *mniej ciepłe lub bardziej ciepłe* n. p. *od ręki.*

Zróbmy następujące *porównanie.* Uważajmy wysokość różnych przedmiotów w pokoju. Mówi się o przedmiotach, umieszczonych niedaleko sufitu, że znajdują się »wysoko«; o przedmiotach zaś, leżących blizko podłogi, mówi się, że położone są »nizko«. Nie jest to ścisły sposób wyrażania się. Sufit pokoju znajduje się dla nas »wysoko«; jednocześnie ~~nań~~ dla kogoś, mieszkającego o piętro wyżej, położony jest »nizko«. Zatem ściślej byłoby ~~mówić~~, że niektóre przedmioty w pokoju są położone *wyżej od nas* (n. p. od naszej ręki lub głowy), że inne są położone *niżej.* Podobnie nieściśle jest mówić, że jedne ciała są »gorące« a inne są »zimne«; należy mówić, że pierwsze są *bardziej ciepłe* a drugie *mniej ciepłe* od naszego ciała, n. p. od ręki lub czoła.

H powiedzieć

§ 110. ~~§ 90.~~ O temperaturze.

Jeszcze lepiej ~~byłoby~~, w poprzedzającym przykładzie, powiedzieć, że każdy przedmiot ma pewne *wzniesienie.* Lampa, wisząca u sufitu, jest bardziej wzniesiona, niż jeśli stoi na stole; piłka, rzucona do góry, jest bardziej wzniesiona, niż kiedy leży na podłodze. Podobnie mówimy, że każde ciało ma pewną *temperaturę.* Ciała gorące mają temperaturę *wyższą* niż ciała obojętne dla ręki; ciała zimne mają temperaturę *niższą.* A zatem, ~~możemy tak opowiedzieć~~ zachowanie się gorącego żelaza wobec wody chłodnej (§ ~~88~~.): temperatura żelaza była (z początku) (wyższa) niż temperatura wody; po włożeniu żelaza do wody temperatura żelaza poczęła się obniżać, temperatura wody poczęła się podnosić i po pewnym czasie temperatury tych ciał stały się jednakowe, *wyrównały się.* Powiadamy: ciała, mające temperaturę wyższą, udzielają ciepła ciałom, mającym temperaturę niższą; przez to temperatura pierwszych się obniża, drugich się podnosi; gdy zaś ciała mają temperatury jednakowe, ani nie udzielają sobie ani nie odbierają sobie ciepła nawzajem. A zatem *temperatura pewnego ciała jest to własność tego ciała, wskazująca, czy ono innym ciałom ciepła udziela, czy je im odbiera, czy też nareszcie wobec innych ciał zachowuje się obojętnie, nie udzielając i nie odbierając im ciepła.*

Γ byłoby

Ш 108 ↓ możemy tak opowiedzieć

⊥ Odwrotnie

§ 111. ~~§ 91.~~ Zero temperatur.

Możemy stwierdzić nie tylko to, że jedne ciała w pokoju mają (wzniesienie) (większe) niż inne; możemy *zmierzyć* wzniesienie każdego ciała w pokoju. Żeby mierzyć wzniesienia, należy zgodzić się na to, od jakiego poziomu mamy je liczyć. Lampa, wzniesiona o metr nad poziom stołu, może być wzniesiona o dwa metry nad poziom podłogi a jednocześnie (o sześć metrów) (n. p.) nad poziom ulicy; zatem podanie samego tylko wzniesienia, bez podania poziomu, od którego je liczymy, nie ma ~~miałoby~~ określonego znaczenia. Podobnie można (nie tylko to) (stwierdzić), że temperatury jednych ciał są wyższe niż innych, można jeszcze temperatury te *mierzyć;* lecz trzeba powiedzieć, od jakiego »*poziomu*« mamy rachować temperatury.

Γ ciała;

W pokoju możemy obrać podłogę za poziom, od którego rachujemy wzniesienia; jest to poziom najniższy, pod który nie można zejść w pokoju. ~~Obieramy *temperaturę topiącego się lodu* (temperaturę topnienia lodu)~~ Za poziom temperatur, od którego będziemy rachowali temperatury ~~innych ciał~~, temperaturę ~~jaką ma~~ mieszaniny lodu lub śniegu i wody. W pokoju nie możemy zejść poniżej podłogi, ale wiemy, że są ciała, które znajdują się niżej. Podobnie (zazwyczaj) (mamy do czynienia) z temperaturami wyższemi niż temperatura topiącego się lodu; ale ~~wiemy~~, że istnieją temperatury, niższe od tego poziomu ~~(§ 100)~~.

Ш obieramy temperaturę topiącego się lodu, czyli

H zobaczymy,

Ażeby zmierzyć wzniesienie lampy lub obrazu na ścianie lub poziomu stołu po nad podłogą, ustawi~~amy~~my skalę tak, ażeby zaczynała się od podłogi i szuka~~my~~my, jakiej podziałce odpowiada

środek lampy, wierzch obrazu lub powierzchnia stołu. A zatem ~~umieścilibyśmy~~ zawsze *zero* naszej skali na poziomie, od którego rachujemy wzniesienia. Dlatego ~~pozwalibyśmy~~ podłogę »poziomem zero« albo »zerem skali wzniesień«. Podobnie ~~nazywamy~~ temperaturę topiącego się lodu *temperaturą zero* albo *zerem skali temperatur*.

HH umieszczamy

możemy nazwać

nazywamy

63.

§ 112. ~~§ 92.~~ O mierzeniu temperatur.

Przypuśćmy, że obraliśmy poziom podłogi za »poziom zero«; cóż dalej czynimy, chcąc mierzyć wzniesienia przedmiotów w pokoju? Posługujemy się *skalą*, wskazującą n. p. centymetry. Zastanówmy się, czem jest skala? czem określone są położenia przedziałek na skali? Oczywiście, trzeba wiedzieć, gdzie się przedziałki na skali zaczynają (t. j. ustanowić jej »zero«); dalej trzeba wiedzieć, jak *długie* mają być podziałki, więc gdzie ma kończyć się pierwsza, dziesiąta, albo setna. Trzeba obrać nie tylko zero, ale jeszcze i inny jakibądź punkt czyli poziom na skali. Skala służy do *porównywania* wzniesień przedmiotów w pokoju ze wzniesieniem przedziałki n. p. »100« na skali po nad przedziałką »0«; a takie *porównywanie*, jak wiemy, jest właśnie *mierzeniem*. ~~(wzniesień)~~

(jak powiedzieliśmy w artykule poprzednim)

Zupełnie podobnie postąpimy w celu mierzenia temperatur. Obraliśmy już »zero« temperatur; musimy obrać jeszcze drugą temperaturę, leżącą wyżej od zera i nazwać ją n. p. temperaturą »100«. Umówmy się, że *temperatura wody wrącej* ma nazywać się temperaturą »100«. To jednak nie jest dostateczne. Musimy powiedzieć, w jaki sposób mamy podzielić odstęp między temperaturami *zero* i *sto* na sto jednakowych odstępów czyli *stopni* ~~(stopni)~~; w jaki sposób mamy rachować temperatury na stopnie, pomiędzy zerem a stu a także poniżej zera i powyżej stu.

jeszcze

Ażeby módz to powiedzieć, musimy poznać niektóre skutki, sprawiane przez ogrzewanie i przez oziębianie ciał.

§ 113. ~~§ 93.~~ Masa nie zależy od temperatury.

Urządźmy dwa pudełka tak, ażeby jedno mogło pomieścić się wewnątrz drugiego, jak okazuje rys. ~~115.~~ Wypełnijmy odstępy pomiędzy ściankami pudełek trocinami, watą lub azbestem; w środku wewnętrznego pudełka zawieśmy kulkę metalową. Cały ten przyrząd postawmy na wadze i zrównoważmy go dokładnie. Wyjąwszy teraz kulę i rozgrzawszy ją mocno w płomieniu, zawieśmy ją w wewnętrznem pudełku; kula będzie tam stygła, ale nadzwyczaj powoli, tak iż przez długi czas pozostanie gorąca. Stawiając przyrząd na wadze, przekonywamy się, że kula nie straciła ani nie zyskała na ciężarze. Jakkolwiek dokładnie wykonalibyśmy to doświadczenie, nie zauważylibyśmy zmiany w ciężarze ciała, wywołanej przez ogrzanie lub przez oziębienie. *Ciężar ciał nie zależy od ich temperatury. Masa ciał* nie zależy również od ich temperatury: ciała gorące spadają na ziemię równie prędko, jak zimne (por. § 33.); uderzenie młotem rozgrzanym nie sprawia skutku ani większego ani mniejszego, niż uderzenie młotem o temperaturze zwykłej.

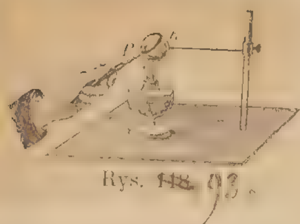
H 92.



Rys. ~~115.~~ 92.

§ 114. Objętość ciał powiększa się skutkiem ogrzewania.

Na deseczce drewnianej połóżmy mosiężną lub miedzianą sztabkę i wbijmy u jej końców dwa gwoździe tak, żeby zaledwie można było przesunąć sztabkę pomiędzy tymi gwoździami. Ogrzejmy teraz sztabkę w płomieniu lampy a zobaczymy, że stała się ona dłuższa, gdyż nie przechodzi między tymisamymi gwoźdźmi. Podobnie możemy się przekonać, że


Rys. ~~118.~~ 93.

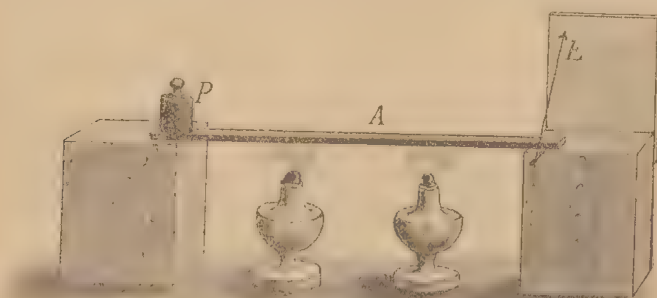
nie tylko długość, lecz również szerokość i grubość sztabki zwiększa się wskutek ogrzewania. Weźmy pierścień P (rys. ~~118~~), nieco większy od kuli metalowej K; rozgrzawszy kulę, nie możemy *z żadnej strony* przeciągnąć przez nią pierścienia. A zatem *ciała rozszerzają się wskutek ogrzewania we wszystkich kierunkach: wskutek ogrzewania objętość ciał się powiększa.*

H 93.

§ 115. Objętość ciał zależy od ich temperatury.

Zbudujmy przy-rząd, przedstawiony na rys. ~~119.~~ 94. Płaską sztabę żelazną lub miedzianą A przyciskamy na jednym końcu ciężarem P; pod drugi jej koniec podkładamy igłę ~~tak, ażeby~~ leżała wpoprzek sztaby i przylepiamy lekką wskazówkę E do uszka tej igły. Sztaba A ogrzewana rozszerza się, więc porusza igłę i odchyla wskazówkę E. Przypuśćmy, że przed zapaleniem płomieni wskazówka stała pionowo; po zapaleniu zaczyna się zaraz odchylać, lecz po zgaszeniu zawraca i przybiera napowrót położenie pionowe. Widzimy więc, że ciała, które rozszerzyły się wskutek ogrzania, kurczą się napowrót, gdy ostygają. Gdy temperatura podnosi się, objętość się zwiększa, ale zmniejsza się napowrót, gdy temperatura się zniża i staje się taką jaką była pierwotnie, gdy temperatura wraca do wysokości pier-

H 94



Rys. ~~119.~~ 94.

wotnej. Objętość każdego ciała *zależy* więc od jego temperatury.

§ 116. Przykłady i zastosowania

Na walec żelazny nieco stożkowaty (rys. ~~120.~~ 95) gruba obręcz żelazna A nie wchodzi, dopóki jest zimna; rozgrzejmy ją do czerwoności a zobaczymy, że wchodzi. Wbijmy ją na walec, dopóki jest gorąca; stygnąc i kurcząc się, obręcz ściska walec tak mocno, że niebawem pęka. Z podobnych powodów druty telegraficzne zwisają podczas lata a prostują się w zimie. Szyny kolejowe, położone zimą, wykrzywiałyby się podczas lata, gdyby nie zostawiano przerwy (zwykle około $\frac{1}{2}$ *cm*) pomiędzy każdemi dwiema sąsiedniemi szynami, ażeby temu zapobiedz. Mostów żelaznych nigdy nie przymocowuje się w zupełności do podtrzymujących je podmurowań; daje się im swobodę rozszerzania i kurczenia się, stosownie do zmian temperatury.



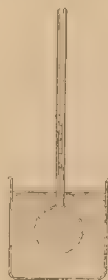
Rys. ~~120.~~ 95.

Odwrotnie

Metale skutkiem ogrzewania rozszerzają się znaczniej niż inne ciała stałe. Dlatego też w piecach, w paleniskach i t. d. ruszty, drzwiczki i wszystkie wogóle części metalowe powinny mieć swobodę rozszerzania się; jeżeli jej nie mają, gną się i wykrzywiają albo też doprowadzają do pęknięcia części murowane.

§ 117. ~~§ 95~~. Rozszerzanie się cieczy.

Weźmy dość spory balon szklany o długiej i cienkiej szyjce i wypełnijmy go alkoholem; żeby widzieć ciecz wyraźnie, możemy ją zabarwić. Wstawmy balon (rys. ~~122~~ 96) do wody gorącej, pilnie zważając na poziom alkoholu w szyjce balonu. Zobaczymy, że w pierwszej chwili poziom alkoholu nieco opada, potem zatrzymuje się i poczyna iść w górę. Czyż alkohol kurczył się pod pierwszem działaniem ciepła? Bynajmniej. Zanim alkohol zaczął się ogrzewać, musiał ograć się przedtem balon szklany, który był wystawiony przedewszystkiem na działanie ciepła. Balon zaś, ogrzewając się, rozszerzał się, więc stawał się większym, pojemniejszym; dlatego alkohol musiał opadać. Później, gdy już sam alkohol zaczął się ogrzewać, rozszerzył się i powetował z nadwyżką rozszerzenie się balonu. A zatem widzimy, że alkohol rozszerza się, gdy temperatura się podnosi; podobnie zachowują się i inne ciecze. Widzimy powtóre, że ciepło po pewnym czasie dopiero zdołało przeniknąć przez szkło do alkoholu. ~~Zatem~~ Powiadamy po trzecie: gdy alkohol w szyjce balonu idzie do góry, przyrost objętości, jaki spostrzegamy, równa się rzeczywistemu rozszerzeniu się alkoholu, zmniejszonemu o rozszerzenie się szklanego balonu. Trzeba więc dodać rozszerzenie się balonu do spostrzeżonego przyrostu objętości, ażeby znaleść rzeczywiste rozszerzenie się cieczy.



Rys. ~~122~~ 96.

H 96

§ 118. Wytłomaczenie skutków, sprawianych przez rozszerzanie się ciał.

Przypuśćmy ~~n. p.~~, że mamy 100 cm^3 wody o temperaturze 0 stopni (§ ~~H~~). Tasama ilość wody w temperaturze 100 stopni zajmie objętość 104 cm^3. Gdybyśmy mogli ogrzać wodę, ogołoconą z wszelkiego naczynia, przyrost jej objętości wyniósłby 4 części na 100 pomiędzy temperaturami 0 i 100. Gdybyśmy teraz w temperaturze 100 chcieli ścisnąć napowrót wodę do pierwotnej objętości 100 cm^3, musielibyśmy wywrzeć na nią olbrzymie ciśnienie; albowiem, jak wiemy (§ 45.), woda jest nadzwyczaj mało ściśliwa. Wyobraźmy sobie, że ~~śmy~~ wywarliśmy takie olbrzymie ciśnienie i ścisnęliśmy wodę ze 104 do 100 cm^3; wówczas woda ściśnięta wywiera nawzajem równie olbrzymie ciśnienie na tłok i ściany naczynia. Gdybyśmy w temperaturze 0 zamknęli wodę szczelnie w naczyniu (n. p. gdybyśmy zalutowali rurkę balonu, wypełnionego wodą) i później ogrzewali naczynie, wówczas musiałoby ono pęknąć; albowiem nie byłoby zdolne wytrzymać ciśnienia, ~~jakie~~ sprawianego przez wodę, ~~wodę~~, której rozszerzaniu się próbujemy zapobiedz. Zupełnie podobne rozumowanie moglibyśmy zastosować do rozszerzania się ciał stałych, n. p. do przypadku sztaby żelaznej, którą ogrzewamy; wszakże żelazo jest jeszcze nieporównanie trudniej ściśliwe niż woda. Ażeby zapobiedz rozszerzaniu się ogrzewanej sztaby lub kurczeniu się oziębianej sztaby, musielibyśmy ~~zatem~~ wywierać na nią ciśnienia zgoła niezmierne; to tłomaczy nadzwyczajną potęgę

H 111.

skutków, sprawianych przez rozszerzanie i kurczenie się ciał stałych, o której przekonaliśmy się na kilku przykładach w artykule ~~poprzednim~~ 116-ym.

§ 119. ~~§ 96.~~ Rozszerzanie się gazów.

Gazy pod działaniem ciepła rozszerzają się bardziej niż ciecze. Weźmy n. p. rurkę szklaną, z jednej strony zamkniętą (rys. 97.); wprowadźmy do niej kroplę rtęci, zanurzmy rurkę do topiącego się lodu i ustawmy kroplę tak, ażeby była odległa o 10 *cm* od zamkniętego końca naszej rurki. (Możemy bez trudności posuwać kroplę naprzód i wstecz, jeśli przy pomocy cieniutkiej rureczki lub drucika pozwolimy powietrzu rurki wchodzić i wychodzić). Przenieśmy teraz rurkę do gotującej się wody. Powietrze, zawarte w rurce, ~~zaczyna~~ rozszerza się natychmiast ~~rozszerzać~~, kropla posuwa się w rurce i zatrzymuje się w odległości 13·7 *cm* od zamkniętego końca. Powtórzmy ~~teraz~~ tosamo doświadczenie w taki sposób, ażeby kropla w topiącym się lodzie była odległa o 20 *cm* od końca rurki; wówczas w gotującej się wodzie zatrzyma się ona w odległości 27·4 *cm* od końca. Pamiętajmy, że ~~ta~~ na kroplę od strony zewnętrznej działa~~ło~~ ciągle atmosferyczne ciśnienie; gdy kropla zatrzym~~ywała~~uje się w określonem miejscu, ~~był to więc znak~~ dowodzi to zatem, że powietrze wewnętrzne wywiera~~ło~~ także atmosferyczne ciśnienie. Powiadamy ~~zatem~~: gdy ogrzewamy gaz i pozwalamy mu rozszerzać się swobodnie, tak, iż ~~ażeby~~ ciśnienie jego nie ulega~~ło~~ ostatecznie zmianie, wówczas objętość gazu powiększa się, mianowicie *z każdego centymetra sześciennego gazu w temperaturze zero otrzymujemy 1·37 cm³ w temperaturze sto.*

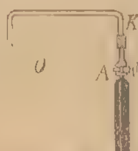


Rys. ~~122~~ 97.

§ 120. Ciśnienie gazów, ogrzewanych w objętości stałej, zwiększa się.

Przypuśćmy teraz, że w ~~tej~~ temperaturze stu stopni chcemy ścisnąć każdy 1·37 *cm³* napowrót do objętości 1 *cm³*. W tym celu musimy wywrzeć na gaz ciśnienie, większe 1·37 razy od obecnego, t. j. ciśnienie 1·37 atmosfery (§ 70.); nawzajem też powietrze, po sprowadzeniu do pierwotnej swej objętości, będzie wywierało także ciśnienie 1·37 atmosfery na ~~swoje~~ otoczenie. *Jeśli pewna ilość powietrza w temperaturze zero wywierała ciśnienie 1 atmosfery w pewnej objętości, wówczas w tejsamej objętości i w temperaturze sto wywiera ciśnienie 1·37 atmosfery.*

Odwrotnie, możemy to sprawdzić zapomocą balonu szklanego *O* (rys. 98.), którego koniec *K* łączymy z lewem ramieniem przyrządu, rys. 62., § 66. Wstawmy balon raz do topiącego się lodu, drugi raz do gotującej się wody i podnośmy przytem prawe ramię przyrządu do góry tak, ażeby w obu razach poziom rtęci w lewem ramieniu stał tuż pod kurkiem. Gdy tak postąpimy, przekonamy się, że ciśnienie powietrza w gotującej się wodzie jest 1·37 razy większe, niż w topiącym się lodzie. N. p., jeśli w temperaturze zero obadwa poziomy stały jednakowo wysoko, wówczas w temperaturze sto prawy poziom będzie stał wyżej od lewego o 28 ~~blisko~~ centymetrów. Otóż tak powinno być według tego, co powiedzieliśmy wyżej; albowiem, odejmując 1 od 1·37 otrzymujemy 0.37; mnożąc zaś 0.37 przez 76 otrzymujemy około 28.



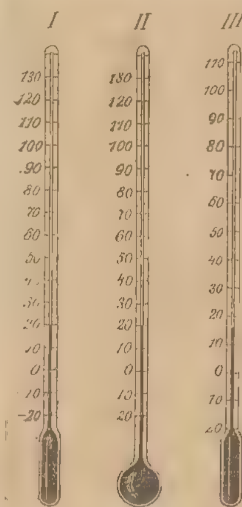
Rys. ~~124~~ 98.

§ 121. Zasada termometru.

Możemy teraz powiedzieć, w jaki sposób mamy podzielić na sto stopni odstęp pomiędzy temperaturami *zero* i *sto* (§ [illegible].). // 112. Weźmy n. p. balon szklany o długiej, cienkiej szyjce, taki, jakim posługiwaliśmy się już wyżej w § [illegible]. (rys. [illegible].). // 117. H 96. Napełnijmy go oliwą (albo gliceryną albo kwasem siarkowym albo wreszcie wodą, w której rozpuściliśmy znaczną ilość salmiaku, soli kuchennej lub innej jakiej soli). Dla wyrazistości doświadczenia można ciecz dowolnie zabarwić. Wstawmy tak napełniony balon do topiącego się lodu; ciecz staje w rurce na pewnym poziomie »*0*«. W temperaturze wody wrącej staje ona podobnie na pewnym, wyższym od poprzedniego, poziomie »*100*«. Pomiędzy pierwszym a drugim poziomem mamy w rurce pewną objętość; tę objętość podzielmy na sto części. Otrzymamy tym sposobem podziałki 0, 1, 2, 3,... nareszcie 99 i 100. ~~Powiemy~~ H Mówimy, że ciecz ma temperaturę n. p. 23-ch stopni, jeśli stoi ona w rurce na podziałce 23 t. j. jeśli objętość cieczy jest większa od objętości jej w zerze o $\frac{23}{100}$ całkowitego rozszerzenia od zera do stu. Przyrząd taki nazywa się *termometrem;* szereg podziałek, odpowiadających stopniom, nazywa się *skalą* termometru. Stopnie oznacza się tak: 23° znaczy 23 stopnie. Termometr, wypełniony gliceryną, nazywamy glicerynowym termometrem; wypełniony alkoholem nazywamy alkoholowym i t. d.

§ 122. Termometry rtęciowe. Skala Celsyusza. Termometry gazowe.

Zupełnie podobnie bywają budowane termometry rtęciowe ~~[illegible]~~, używane częściej od innych. Miewają one zazwyczaj bardzo małe naczyńka t. j. zawierają bardzo mało rtęci, ażeby przybierały prędko temperaturę ciał otaczających. Jednakowoż, im mniej jest rtęci, tem mniejsze są też przyrosty objętości, których / ona doznaje pod działaniem ciepła; dlatego, ażeby nawet małe przyrosty były dokładnie widoczne, daje się rurce termometrycznej nadzwyczaj drobne przecięcie. Na rys. ~~125~~ H 99, I oraz ~~125~~ H 99., II widzimy takie rtęciowe termometry, opatrzone skalą stustopniową ~~[illegible]~~ czyli t. zw. skalą Celsyusza, ~~wyżej~~ opisaną 7 w artykule poprzednim. Niekiedy używane bywają też termometry, których skala (zwana skalą Réaumura) zbudowana jest nieco inaczej; mianowicie punkt wrzenia wody jest wzięty w nich za stopień *80* (rys. Ш 99, III) nie zaś za *100*; więc stopień skali Réaumura wynosi tyleż, ile $^5/_4$ stopnia skali Celsyusza. W książce niniejszej będziemy trzymali się wszędzie skali stustopniowej Celsyusza.



Rys. ~~125.~~ 99.

Jak alkohol lub rtęć, podobnie obrać można powietrze lub inne ciało gazowe za *ciało termometryczne* t. j. za ciało, którego rozszerzanie się pozwala mierzyć temperatury. Przyrządy n. p., opisane w ~~§ 99~~., H §§ 119. i 120. można nazwać termometrami powietrznymi. Takie *termometry gazowe* są bardzo dokładne, ponieważ gazy rozszerzają się znaczniej niż ciecze, ale są mniej dogodne; używane ~~przeto~~ bywają przeważnie przez uczonych w naukowych badaniach.

§ 123

~~§ 98.~~ O temperaturze ciał w pokoju.

Z powyższego widzimy, że termometr wskazuje, właściwie mówiąc, taką temperaturę, jaką ma w danej chwili jego ciało termometryczne. Gdy n. p. czytamy temperaturę na termometrze rtęciowym, wiemy, że jest to temperatura rtęci, w nim zawartej. Lecz ciała sąsiadujące udzielają sobie ciepła, dopóki temperatury ich nie staną się ~~dokładnie~~ jednakowe (§ 110.); zatem termometr przyjmuje po pewnym czasie temperaturę swego otoczenia. Zanurzony n. p. do wody, wystawiony na powietrze, trzymany w dłoni, termometr wskaże po niejakim czasie temperaturę wody, powietrza lub dłoni.

~~Mając termometr,~~ Przekonajmy się teraz, jakie są temperatury ciał, które nas otaczają. W pokojach mieszkalnych powietrze miewa zazwyczaj od 15° do 20°. Temperatura ciała człowieka wynosi mniej więcej od 30° (na dłoni) do 36° w stanie zdrowia, u gorączkującego człowieka podnosi się niekiedy aż do 41°. Pokarmy wydają nam się gorące, gdy mają około 60°, letnie — około 40°.

§ 124. Dlaczego metale wydają się zimne w dotknięciu.

Przypuśćmy, że na stole znajdują się następujące ciała: kawałek żelaza, miseczka pełna rtęci, klocek drewniany, materya wełniana, nieco puchu. Dotykając tych ciał po kolei ręką, czujemy, że żelazo i rtęć wydają się bardzo zimne, drzewo nieco chłodne, wełna zaś i puch stosunkowo ciepłe. ~~Jeżeli~~ Czy te ciała mają rzeczywiście temperatury niejednakowe? W takim razie powinny dojść po niejakim czasie do temperatur jednakowych, jak wszelkie ciała sąsiadujące ze sobą. Pozostawmy je więc przez czas dłuższy w sąsiedztwie lub nawet w zetknięciu wzajemnem. Po upływie tego czasu zbadajmy je termometrem; termometr okazuje, że istotnie temperatura tych ciał jest jednakowa. Powtórzmy próbę ręką: żelazo i rtęć wydają się znowu zimne, drzewo — nieco chłodne, wełna i puch wydają się stosunkowo ciepłe. Włóżmy ~~teraz~~ żelazo, rtęć, drzewo, wełnę, puch i termometr do piecyka; gdy się ~~dobrze~~ ogrzeją, znów badajmy je ręką. Teraz, wprost przeciwnie, żelazo i rtęć wydają się bardzo gorące, drzewo sprawia wrażenie umiarkowanego gorąca, wełna i puch wydają się najmniej ogrzane. Cóż się tu dzieje? W pierwszym razie, gdy leżały na stole, wszystkie ciała (żelazo, rtęć, drzewo, wełna i puch) miały wprawdzie temperaturę jednakową, lecz niższą niż temperatura ręki; miały one temperaturę pokojową, a ręka ma temperaturę o 10 do 15 stopni wyższą. W drugim razie miały one temperaturę także jednakową, lecz wyższą niż temperatura ręki. A zatem w pierwszym razie ręka ~~się~~ oziębiała się, dotykając tych ciał; w drugim razie, dotykając ich, ogrzewała się. Widocznie ręka *łatwiej, prędzej* przejmuje temperaturę żelaza i rtęci, niż temperaturę wełny i puchu; gdy są zimniejsze, żelazo i rtęć prędzej ją chłodzą, niż wełna i puch; gdy są cieplejsze, przeciwnie, żelazo i rtęć prędzej ją ogrzewają. My zaś, dotykając ręką (ciała), nie to czujemy, czy ono jest samo w sobie mniej czy bardziej ciepłe (lub zimne), (czujemy raczej to), czy ono rękę ogrzewa lub oziębia prędzej lub wolniej.

§ 125. Dobre i złe przewodniki

Widzimy, że temperatura ciał sąsiadujących ze sobą ostatecznie wyrównywa się zawsze; ale do wyrównania przychodzi rychlej, kiedy ciepło płynie przez żelazo lub rtęć, niż kiedy płynie przez wełnę lub puch. Ażeby się krótko wyrażać, powiadamy: żelazo i rtęć są to *dobre przewodniki*; puch, wełna są *złe przewodniki*. Wogóle metale, np. miedź, żelazo, srebro it.d. są najlepszymi przewodnikami; kamienie, marmur, cegła, porcelana, szkło, są gorszymi a jeszcze gorszymi przewodnikami są takie ciała jak drzewo, papier, róg, korek, kauczuk, piasek. Wiemy o tem zresztą z codziennego doświadczenia: trzymając w ręku palącą się zapałkę, nie czujemy w drewienku ciepła; tymczasem, gdy włożymy drut metalowy jednym końcem w płomień, wysoka temperatura rozchodzi się prędko po drucie, który parzy niebawem na przeciwległym swym końcu. Pomiędzy metalami istnieją zresztą znaczne różnice w zdolności rozprowadzania podniesionej temperatury. Wstawmy w płomień dwa druty, jeden żelazny, drugi miedziany, lecz wymiarów jednakowych; zapałka, posuwana po drucie miedzianym, zapali się dalej od płomienia, niż posuwana po drucie żelaznym; miedź jest lepszym przewodnikiem niż żelazo.

Bardzo złymi przewodnikami są gazy, np. powietrze. Gdyby powietrze nie było złym przewodnikiem, byłoby nam trudno znosić styczność z niem w porze zimowej. Ponieważ powietrze jest złym przewodnikiem, przeto i ciała porowate albo włókniste, które zawierają w sobie zwykle dużo powietrza, muszą być złymi przewodnikami. Istotnie: wełna, wata, puch, sukno, azbest, wióry, trociny, siano, słoma, popiół należą do najgorszych przewodników. Z tej samej przyczyny okna podwójne chronią od zimna o wiele skuteczniej, niż pojedyncze. Korzystamy ze złego przewodnictwa ciał porowatych lub włóknistych codziennie. W zimie ochraniamy się od mrozu futrami; okręcamy suknem klamki, poręcze i inne metalowe przedmioty, które są wystawione na zimno i których musimy dotykać. Lód, owinięty w szmaty, otoczony wiórami, topi się powoli, nawet w ciepłym pokoju; budowa rozpowszechnionych obecnie lodowni pokojowych zasadza się na złem przewodnictwie powietrza. Połóżmy nieco azbestu luźno na dłoni; możemy umieścić na azbeście kulę żelazną (nie zbyt ciężką), rozgrzaną do czerwoności i przez pewien czas trzymać ją bezkarnie. —

§ 126. Temperatury, wyższe od 100° i niższe od 0°.

W wodzie wrącej termometr pokazuje 100°. Ale są ciała, mające jeszcze wyższe temperatury: żelazo n. p. rozgrzane do czerwoności ma znacznie wyższą temperaturę. Podzielmy rurkę termometru i po nad poziomem »100« na takiesame części równej objętości, jakie mieliśmy pomiędzy zerem a stu; to będą stopnie wyższe od 100°, więc 101°, 102° i t. d. Postąpmy zupełnie podobnie pod poziomem »zero«. Termometr pokazuje 0° w topiącym się lodzie; ale są ciała, mające jeszcze niższe temperatury: mieszanina śniegu z solą kuchenną okazuje niższą temperaturę, podobnież powietrze podczas mrozów zimowych. Podzielmy więc rurkę termometru i pod zerem na takiesame części, jakie mieliśmy pomiędzy zerem a stu; będą to stopnie oczywiście *ujemne*: — 1°, — 2°, — 3° i t. d. Zero naszej skali nie jest bynajmniej najniższą możliwą temperaturą, lecz jest pewną, dowolnie obraną temperaturą; niższe od niej temperatury nazywamy ujemnemi, podobnie jak w Arytmetyce liczby mniejsze od zera nazywamy ujemnemi. W mieszaninie n. p. śniegu i soli (świeżo przygotowanej) znajdujemy temperaturę, dochodzącą do — 20°.

§ 127. Gęstość ciał zależy od ich temperatury.

Weźmy wodę o temperaturze 0° i ogrzejmy ją do 100°. Masa tej wody nie zmieni się (§ 113.), lecz objętość jej powiększy się. Ta-

sama masa wody w temperaturze 100° zajmuje więc objętość większą niż w 0°; tasama liczba gramów zajmuje więcej centymetrów sześciennych. A zatem w temperaturze 100° zawiera się w jednym centymetrze sześciennym masa mniejsza niż w 0°; innemi słowy, *gęstość* wody (§ 39) w 100° jest mniejsza niż w 0°. Tosamo stosuje się do wszystkich ciał, które rozszerzają się, gdy temperatura ich się podnosi: *gęstość ich jest mniejsza w wyższej niż w niższej temperaturze.*

Więc n. p. woda gorąca jest mniej gęsta niż zimna, podobnie jak korek jest mniej gęsty niż woda. Nic dziwnego zatem (§ 11.), że woda gorąca pływa po zimnej, jak to spostrzegamy, przygotowywując ciepłą kąpiel w wannie.

§ 128. Gazy gorące unoszą się do góry.

Z objaśnionego ~~tu~~ powodu powietrze ogrzane wypływa do góry, ~~gdy~~ zimne pozostaje u dołu; toteż ~~widzimy~~, że w pokoju, w którym palą się lampy lub piec silnie grzeje, powietrze gorące zbiera się pod sufitem. Wszelki płomień, jak wiadomo z Chemii, wymaga ciągłego dopływu powietrza, albowiem zużywa nie tylko materyał palny (n. p. drzewo, węgiel, naftę, gaz oświetlający, stearynę), lecz też i *tlen* ~~(kwasoń)~~, zawarty w powietrzu. Z drugiej strony płomień wytwarza ciała gazowe, które powstają przez łączenie się materyału palnego z tlenem; ciała te gazowe, będąc gorące, wraz z powietrzem, ogrzewanem przez płomień, ~~biegną do góry~~ tworzą prąd ~~(ciąg)~~; prąd ten nazywamy dymem, jeśli ~~unoszą~~ się w nim drobne cząstki niespalonego węgla. Zbliżmy płomień lampy lub świecy do obłoku dymu (n. p. tytuniowego), wiszącego ~~spokojnie~~ w powietrzu pokoju; będziemy mogli zauważyć dokładnie prąd poziomy zimn~~ego powietrza~~, płynący *ku* płomieniowi od wszystkich boków i jednocześnie prąd pionowy gorący, płynący *od* płomienia po nad jego wierzchołkiem. Umieśćmy świecę na korku, pływającym po wodzie (rys. 128.); zapalmy świecę i wstawmy cylinder szklany na płomień, jak pokazuje rysunek. Płomień prze prąd gorący ku górze, ale nie ma skąd ciągnąć dopływu świeżego powietrza; dlatego też po chwili słabnie i gaśnie. Lecz jeśli powtórzymy doświadczenie, wstawiwszy pionowo w cylinder kawałek tektury, płomień nie zgaśnie, albowiem jedną stroną cylindra będzie ciągnął świeże powietrze, drugą zaś będzie parł gazy gorące ku górze. Istotnie: dym tytuniowy, wpuszczony po pierwszej stronie cylindra, odbędzie w nim taką drogę, najprzód na dół a potem do góry. Rozumiemy teraz, dlaczego »ciągną« kominy i przewody kominowe, idące (wewnątrz ścian) od pieców i ognisk aż po nad dachy budynków.



Rys. ~~128.~~ 100.

Wentylacya czyli sztuczne przewietrzanie budynków (nader pożyteczne, nawet konieczne dla zdrowia ich mieszkańców) polega najczęściej na zużytkowaniu własności ogrzanego powietrza, objaśnionych w artykule niniejszym.

§ 102. Określenie grama.

Powiedzieliśmy w § 36., że gramem nazywa się masa, zawarta w jednym centymetrze sześciennym wody. Widzimy teraz, że trzeba dodać, jaka ma być temperatura tej wody, albowiem n. p. centymetr sześcienny wody gorącej ma mniejszą masę niż centymetr sześcienny zimnej. Umówiono się, że gramem jest masa, zawarta w centymetrze sześciennym wody o temperaturze 4°; ta sama temperatura obowiązuje oczywiście w określeniu kilograma i t. d. Gram wody o temperaturze 100° zajmuje 1·04 *cm*³; odwrotnie jeden centymetr sześcienny takiej wody zawiera masę 0·96 grama; innemi słowy, woda wrząca ma gęstość 0·96. W temperaturach pokojowych gęstość wody jest bardzo mało co mniejsza od jedności, n. p. w temperaturze 16° wynosi 0·999; gram takiej wody zajmuje więc objętość, większą od sześciennego centymetra o jedną tysiączną t. j. o jeden sześcienny milimetr.

§ 101. O ilości ciepła.

Przypuśćmy, że mamy w naczyniu kilogram wody o temperaturze 10°. Potrzymajmy to naczynie nad płomieniem i uważajmy, jak woda ogrzewa się. Po pięciu minutach ma n. p. 30°; powiadamy, że przez ten czas pewna *ilość ciepła* [illegible] przeszła z płomienia do wody. Potrzymajmy jeszcze pięć minut temperatura podniesie się do 50°; z płomienia przeszła więc na wodę druga ilość ciepła, równa pierwszej. Przez dziesięć minut płomień oddał wodzie ilość ciepła dwa razy większą, niż przez pięć minut. Użyjmy płomienia większego lub dwóch płomieni zamiast jednego; zobaczymy, że woda po upływie 5 minut ogrzewa się do temperatury wyższej niż 30°, n. p. do temperatury 55°; a zatem płomień większy dostarcza też znaczniejszej ilości ciepła w czasie jednakowym. Z tego widzimy, po pierwsze, że pewna ilość wody potrzebuje pewnej ilości ciepła, ażeby ogrzać się od pewnej temperatury do innej temperatury; powtóre, że pewna ilość ciepła może być dwa, lub trzy, lub ilekolwiek razy większa albo mniejsza od innej ilości ciepła. Stąd wynika, że *ilości ciepła można mierzyć*. Długości można mierzyć, gdyż każda długość jest pewną liczbę razy dłuższa lub krótsza od metra t. j. od jednostki długości. Podobnie każda ilość ciepła jest pewną liczbę razy większa lub mniejsza od ilości ciepła, jakiej potrzebuje kilogram wody, ażeby ogrzać się o jeden stopień. *Tę ilość ciepła obieramy za jednostkę* i nazywamy ją *kaloryą*. Inne ilości ciepła mierzymy przez porównywanie ich z kaloryą.

§ 100. Ogrzewając się, różne ciała pochłaniają różne ilości ciepła.

Kilogram wody, ogrzewając się o stopień, pochłania *1* kaloryę. Zatem n. p. masa wody, mająca trzy kilogramy, ogrzewając się również o stopień, pochłonie trzy kalorye, albowiem każdy z trzech kilogramów, składających tę masę, pochłonie sam przez się jedną kaloryę. Masa wody 5 *kg*, ogrzewając się o stopień, pochłonie podobnie 5 kaloryj. *Każde ciało, ogrzewając się o pewną liczbę stopni, pochłania* [illegible] *ilość ciepła tem większą, im masa jego jest większa.*

Porównajmy [illegible] ilości ciepła, potrzebne do jednakowego ogrzania *rozmaitych ciał* w jednakowej masie. Ogrzejmy 100 *gr.* wody do 100° i zmieszajmy je ze 100 *gr.* wody, mającej temperaturę pokojową, więc n. p. 15°. Temperatura po zmieszaniu wyniesie oczywiście 57·5°, albowiem woda o temperaturze 15° zyskała taką ilość ciepła, jaką straciła woda o 100°; pierwsza więc ogrzała się o 42·5°, druga oziębiła się o tyleż. Weźmy dalej 100 *gr.* wody, ogrzanej do 100° i 100 *gr.* terpentyny o temperaturze n. p. 15°. Po zmieszaniu tych cieczy

72

przekonamy się, że temperatura ich wspólna wynosi 75°. A zatem woda oziębiła się teraz o 100—75 t. j. o 25 stopni; terpentyna zaś ogrzała się o 75—15 czyli o 60 stopni. ~~Że jednak~~ Terpentyna ~~pobrała tę samą właśnie~~ ilość ciepła, którą straciła woda; więc powiadamy: ilość ciepła, która ogrzewa 100 *gr.* terpentyny o 60 stopni, ~~byłaby~~ w stanie ogrzać 100 *gr.* wody tylko o 25 stopni. Więc kilogram terpentyny wymaga *mniejszej* ilości ciepła, niż kilogram wody, do ogrzania się jednakowego, mianowicie mniejszej w stosunku 25:60 albo ~~około~~ 0·42 1·00. Kilogram wody pochłania 1 kalorye, ogrzewając się o 1 stopień; zatem kilogram terpentyny pochłania 0·42 kaloryi, ogrzewając się o 1 stopień. W podobny sposób można ~~dojść~~, że kilogram alkoholu pochłania 0·60 kaloryi, ogrzewając się o stopień, kilogram żelaza — nieco więcej niż 0·10, kilogram miedzi nieco mniej niż 0·10 kaloryi; kilogram rtęci — nieco więcej niż 0·03 kal. W jednakowych warunkach potrzeba więc około 30 razy więcej ciepła, ażeby ogrzać wodę, niż ażeby ogrzać rtęć.

pochłonęła tutaj tę
jest
w stosunku do
przekonać się

§ 132. ~~§ 106~~. Punkt topliwości.

Nalejmy nieco wody do szklanki; przypuśćmy, że temperatura wody wynosi 15°. Możemy łatwo obniżyć temperaturę wody; wstawiając ją n. p. do mieszaniny śniegu i soli (§ 126.) i ciągle mieszając, możemy doprowadzić temperaturę do 10°, do 5° i nareszcie do 0°. Ale n. p. do —10° *nie możemy* doprowadzić wody, albowiem w temperaturze 0° woda *zamarza*. Postąpmy odwrotnie. Weźmy nieco lodu; lód jest zimny, ma n. p. temperaturę —12°. Możemy lód ogrzać, doprowadzić go n. p. do —8°, do —5°, do —1°; ale nie możemy doprowadzić go do +10° n. p., albowiem w temperaturze 0° lód *topi się*. Powiadamy: lód może mieć temperaturę niższą od zera lub samo zero, lecz nie może mieć temperatury wyższej. Woda może mieć temperaturę wyższą od zera lub samo zero, lecz nie może mieć temperatury niższej. Jedyną więc temperaturą, którą może mieć i lód i woda, jest temperatura 0°. Dlatego w tej temperaturze 0° może istnieć mieszanina lodu z wodą t. j. lód i woda mogą stykać się z sobą w 0° i lód nie będzie się topił, ani woda nie będzie marzła. ~~topienia się lodu i bez zamarzania wody~~. Jeśli więc mamy *lód* (lub *śnieg*, który składa się z drobniutkich kryształków lodu) *wilgotny* t. j. poczynający się topić, możemy być pewni, że temperatura w tej mieszaninie lodu (lub śniegu) z wodą wynosi 0°.

Powiadamy inaczej, że 0° jest *temperaturą* lub *punktem topliwości* lodu ~~lub raczej tego ciała, które bywa bądź lodem, bądź wodą, zależnie od temperatury~~.

§ 133. ~~§ 107~~ Czemu jedne ciała są ciekłe a inne są stałe.

Jak temperatura 0° jest punktem topliwości lodu, podobnie temp. 31° jest punktem topliwości masła, temp. 63° punktem topliwości wosku, temp. 115° punktem topliwości siarki; każdy rodzaj ciała ma własny punkt topliwości. Zatem n. p. *siarka* jest ciałem stałem poniżej 115° a ciałem ciekłem powyżej 115°. Dlaczegoż nazywamy zwykle siarkę ciałem stałem? Ponieważ widujemy ją zazwyczaj w temperaturach, które leżą znacznie niżej od jej punktu topliwości. Gdybyśmy żyli w atmosferze, mającej n. p. 130°, widywalibyśmy siarkę w temperaturach, wyższych o 15 stopni od jej punktu topliwości i uważalibyśmy ją za ciecz. Żyjemy zazwyczaj w temperaturach, wyższych mniej więcej o 15° od punktu topliwości wody i dlatego jesteśmy przyzwyczajeni do uważania wody za ciecz. Ale zwykła woda jest stopionym lodem, podobnie jak siarka w 130° jest stopioną siarką. Podobnie *rtęć* nazywamy cieczą dlatego, że punkt topliwości rtęci leży nizko (w —39°); lecz na wyprawach podbiegunowych ludzie znosili nieraz temperatury takie jak —39° i niższe a wówczas rtęć wydawała im się ciałem stałem,

temperatury

które można kuć, krajać na kawałki i t. d. Jeszcze niżej leży punkt topliwości n. p. alkoholu. Przeciwnie, punkt topliwości metali leży bardzo wysoko; n. p. punkt topliwości cyny wynosi 227°, ołowiu 325°, miedzi około 1100°, stali około 1300°, żelaza około 1600°. Czemu więc jedne ciała są ciekłe a inne stałe? Ponieważ temperatury, w których żyjemy, są wyższe od punktów topliwości pierwszych a niższe od punktów topliwości drugich.

Wielu ciał nie można stopić dlatego, iż *rozkładają się*, zanim stopiłyby się, gdy je ogrzewamy. Z tego powodu nie można stopić n. p. drzewa, papieru, lnu, wełny i t. d.; wszystkie te ciała rozkładają się na węgiel i na części lotne czyli *zwęglają się* pod działaniem ciepła. Inne ciała, jak n. p. czysty węgiel, glina, topią się w temperaturach nadzwyczajnie wysokich, wytrzymują temperaturę zwykłego ognia bez stopienia; z nich przeto wyrabiają t. zw. ogniotrwałe naczynia oraz cegły do pieców.

Niektóre ciała (n. p. żelazo, saletra, lód) pozostają twarde i sztywne prawie do samego punktu topliwości; takie ciała nie dają się urabiać w dowolne kształty, chyba pod działaniem olbrzymich sił. Inne ciała, przeciwnie, miękną już w temperaturach znacznie niższych od punktu topliwości i dają się wtedy krajać, giąć, wyciągać, wydymać i t. d. Szkło, lak, smoła stanowią przykłady takich właśnie ciał, zwanych *plastycznemi*.

§ 134. § 109. Ciepło topliwości.

Weźmy dwa jednakowe naczynia; w jednem pomieśćmy kilogram lodu o temperaturze 0°, więc już poczynającego się topić, w drugiem kilogram wody o temperaturze 0°. Postawmy te naczynia obok siebie w pokoju; zobaczymy, że woda przybierze temperaturę pokojową już wówczas, gdy dopiero nieznaczna część lodu będzie stopiona. Ciepło, napływające z powietrza, w naczyniu z wodą idzie odrazu na podnoszenie temperatury, gdy tymczasem w naczyniu z lodem zużywa się przedtem na topienie lodu. Weźmy dalej kilogram lodu, mającego 0° i oblejmy go kilogramem wody gorącej, mającej 80°. Gdybyśmy, zamiast lodu, wzięli wodę o 0°, otrzymalibyśmy 2 kilogramy wody o 40° (§ 105.); tymczasem obecnie otrzymujemy 2 kilogramy wody ciekłej, mającej 0°. Woda gorąca straciła więc 80 kaloryi, które pobrał lód, ażeby stopić się. Trzeba wprowadzić 80 kaloryi do kilograma lodu o temperaturze 0°, ażeby zamienić go na kilogram wody o tejże temperaturze. I odwrotnie: trzeba odebrać 80 kaloryi kilogramowi wody o temperaturze 0°, ażeby zamienić go na kilogram lodu o tejże temperaturze. Mówimy, że *ciepło topliwości* (ciepło utajone) wody wynosi 80 kaloryi na kilogram.

Ciepło topliwości wody jest więc stosunkowo dość znaczne. To też płomień, który szybko ogrzewa, który n. p. podnosi temperaturę pewnej masy wody o kilkanaście stopni w ciągu kilku minut, musi pracować znacznie dłużej, przez kilkadziesiąt minut, nad stopieniem równej masy lodu. Potrzeba wielu dni odwilży, ażeby stopić znaczne masy śniegu, leżące po śnieżnej zimie na polach; albowiem powietrze nie jest w stanie prędzej dostarczyć 80 kaloryi każdemu kilogramowi śniegu. I odwrotnie: woda w stawie lub jeziorze zamarza nieraz dopiero po kilku dobach mrozu, gdyż zimne powietrze nie jest w stanie prędzej odebrać 80 kaloryi każdemu kilogramowi wody.

§ 135. § 110. Para wodna.

Puśćmy kroplę wody na tafelkę szklaną; po niejakim czasie kropli niema; *wyschła ona*, jak powiadamy. Podobnie wysycha zmoczona bielizna lub ziemia, gdy oddawna nie było deszczu. Z butelki otwartej woda również wysycha; ale z zakorkowanej butelki nie wysycha; jeśli zamknięcie jest szczelne, wody wcale nie ubywa. Stąd widzimy, że woda, wysychając, nie ginie, tylko się *ulatnia* czyli *paruje* (napyę) t. j. zamienia się na ciało gazowe, na *parę*

/ się
// więc
/ już
Od wiersza
// temperaturę // temperaturę ||| 131.
↓ np.

wodną i jako para rozchodzi się w powietrzu. Weźmy wodę gorącą; woda taka zamienia się na parę obficiej, niż zimna; dlatego przedmioty wilgotne w cieple łatwiej wysychają. Nalawszy szklankę wodą gorącą do połowy, mamy w górnej połowie pełno pary wodnej. Przykryjmy szklankę zimnym talerzem; para wodna w zetknięciu z talerzem *skrapla się* (krapnie) i pokrywa go gęstą rosą. A więc powiadamy: woda może mieć postać trojaką: ciała stałego, ciekłego i gazowego; w tej ostatniej nazywamy ją *parą wodną*.

postaci

Ogrzewajmy nieco wody w szklanem naczyniu o dość wązkiej szyjce, aż pocznie *wrzeć*. (warzyć) Tworząca się para skrapla się z początku na chłodnych ścianach naczynia; później, gdy już samo naczynie jest gorące, para strumieniem wybiega w powietrze. Zauważmy wówczas, że para skłębia się w nieprzezroczysty obłoczek dopiero w pewnej odległości od otworu naczynia; wnętrze naczynia, wypełnione parą, jest zupełnie przezroczyste. A zatem *para wodna jest przezroczysta i niewidzialna* (nieprzejrzysta i niewidzialna), jak powietrze; co zwykle nazywamy parą, nie jest ciałem gazowem czyli parą właściwą, lecz parą *skroploną* na maleńkie kropelki, unoszące się w powietrzu.

w języku potocznym

§ 136. § 111. Ciśnienie pary.

Jak powietrze i jak każde w ogóle ciało gazowe, (ciało powietrzne), para wodna wywiera ciśnienie; zobaczmy, jak znaczne ciśnienie wywiera. Gdy woda ulatnia się w powietrzu, para powstająca miesza się z powietrzem; więc, żeby mieć ciśnienie samej tylko pary, pozwólmy wodzie ulatniać się w próżni. Wprowadzamy wodę do rurki barometru w sposób, jaki objaśnia rys. 101. Jak tylko woda w rurce wypłynie ponad rtęć, próżnia wypełnia się parą wodną i słup w barometrze się obniża. O ile słup się obniża, zależy od temperatury. W temperaturze 10° obniżka wynosi 0·9 *cm*, w temperaturze 15° wynosi 1·3 *cm*, w 20° zaś 1·7 *cm*. Wiemy, że taka obniżka słupa barometrycznego wskazuje ciśnienie ciała gazowego, które dostało się do próżni. Powiadamy zatem: woda w 10° wytwarza parę o ciśnieniu 0·9 *cm* rtęci; w 15° oraz w 20° wytwarza parę o ciśnieniu 1·3 oraz 1·7 *cm* rtęci.



Rys. 101.

§ 137. § 112. Ciecz i para w zetknięciu.

Tosamo doświadczenie możemy wykonać zapomocą przyrządu, przedstawionego na rys. 63. (rys. 102.). Wprowadźmy nieco wody po nad rtęć w *C* przed zamknięciem kurka; następnie podnieśmy rurkę *C*, jak na rys. 63, III. Różnica w wysokościach poziomów rtęciowych będzie teraz mniejsza wskutek ciśnienia pary wodnej. Przypuśćmy n. p., że mamy 15° w pokoju: różnica w wysokościach jest teraz 74·7 *cm*, gdy poprzednio wynosiła 76 *cm*. Położenie poziomów rtęciowych jest więc takie, jak na rys. 102, I. Podnieśmy rurkę prawą *C* znacznie do góry; rtęć w niej zejdzie niżej i objętość próżni znacznie się powiększy (rys. 102., II.). Zmierzmy znowu różnicę wysokości poziomów; wynosi ona, jak wprzódy, 74·7 *cm*. Natomiast obecnie jest nieco *mniej* wody ciekłej nad rtęcią niż w położeniu I. Co się stało? Gdy powiększyliśmy objętość pary wodnej w *C*, ciśnienie jej zmniejszyło się; albowiem ciśnienie wszelkiego ciała gazowego (§ 66.) zmniejsza się, gdy objętość jego się zwiększa. Lecz wówczas ciekła woda nad rtęcią

II 63. III 102.

II 63.

III 102.,

, w położeniu II,

w tem doświadczeniu

(§ 71.).



Rys. 102.

znalazła się w *C* pod ciśnieniem *mniejszem* niż 1·3 *cm*, zaczęła więc wytwarzać nowe ilości pary. Przez to ciśnienie pary powiększało się; gdy doszło napowrót do 1·3 *cm*, woda przestała dalej parować. Dlatego znaleźliśmy w położeniu II. ilość wody ciekłej nieco mniejszą, ciśnienie zaś pary równie znaczne, jak w położeniu I. Gdybyśmy byli wykonali to doświadczenie w temperaturze 20°, bylibyśmy podobnie znaleźli: że różnica wysokości poziomów wynosi stale 74·3 *cm*; że ilość wody ciekłej zmniejsza się, gdy objętość próżni zwiększamy, zwiększa się zaś, gdy ją zmniejszamy. Powiadamy zatem: *w każdej temperaturze woda wytwarza parę o pewnem określonem ciśnieniu;* nazywa się ono ***ciśnieniem nasycenia*** (ciśnienie nasycenia). Jeśli ciśnienie pary nad wodą jest mniejsze niż ciśnienie nasycenia, wówczas woda paruje; jeśli jest większe, para się skrapla. Jeśli ciecz i para są ze sobą w zetknięciu i ani woda nie paruje ani para się skrapla, wówczas para ma właśnie ciśnienie nasycenia.

§ 138. ~~§ 112.~~ Ciśnienie nasycenia rośnie z temperaturą.

Przejdźmy teraz do wyższych temperatur. Otoczmy (rys. 132.) rurkę *C* poprzedniego przyrządu szeroką rurą szklaną i nalejmy do niej wody gorącej; zważajmy zawsze na to, ażeby nad rtęcią w rurce *C* znajdowała się woda ciekła. Mierząc różnice wysokości poziomów rtęciowych, znajdziemy ciśnienie nasycenia wody w różnych temperaturach. Znajdziemy:

3·1 *cm* w 30°	35·5 *cm* w 80°
9·2 *cm* w 50°	52·5 *cm* w 90°
23·3 *cm* w 70°	76·0 *cm* w 100°.



Rys. ~~132.~~ 103.

Gdy temperatura się podnosi, ciśnienie nasycenia rośnie coraz bardziej i dochodzi do ciśnienia atmosferycznego (76 *cm*) w temperaturze 100°. Powyżej 100° ciśnienie nasycenia wody staje się jeszcze większe, n. p. w 110° wynosi już 107·5 *cm*.

§ 139. ~~§ 114.~~ Punkt wrzenia.

Rozumiemy teraz, że, kiedy ogrzewamy wodę w otwartem naczyniu, temperatura wody nie może podnieść się ponad 100°. Istotnie: woda znajduje się wówczas pod ciśnieniem 76 *cm*; tworząca się para rozchodzi się w powietrzu, więc ciśnienie nie może podnieść się po nad 76 *cm*, zatem i temperatura wody ponad 100°. To też w tej temperaturze 100° woda zamienia się całkowicie na parę w otwartem naczyniu; mówimy, że *woda wre w temperaturze 100° pod ciśnieniem atmosferycznem.* Temperatura 100° nazywa się dlatego *temperaturą* lub *punktem wrzenia* wody.

§ 140. Wrzenie pod ciśnieniem innem, niż atmosferyczne

~~Gdybyśmy gotowali~~ Gotujmy wodę w zamkniętem naczyniu (rys. 133.); para nie rozchodzi się w powietrzu, ciśnienie jej podnosi się ponad 76 *cm*, jak pokazuje położenie rtęci w rurce *M*; wówczas temperatura podnosi się po nad 100°, jak pokazuje termometr *T*. Pod ciśnieniem, większem niż atmosferyczne, woda wre w temperaturze wyższej niż 100°. Zastosowanie tej zasady znajdujemy *w kotłach parowych*, służących do wytwarzania pary dla maszyn parowych (§ 122.). Do niektórych maszyn potrzeba pary o znacznem ciśnieniu, naprzykład o ciśnieniu kilkunastu atmosfer; woda, gotująca się w kotle, ma wówczas temperaturę, dochodzącą do 200° lub nawet jeszcze wyższą.



Rys. ~~133.~~ 104.

Umieśćmy ~~Gdybyśmy~~ przeciwnie ~~umieścili~~ naczynie z wodą pod dzwonem pompy pneumatycznej i wyciągajmy wciąż powietrze i tworzącą się parę, n. p. tak, ażeby ciśnienie pod dzwonem wynosiło stale 35·5 *cm*; wówczas temperatura wody nie może ~~mogłaby~~ podnieść się ponad 80°; więc wrzenie pod dzwonem będzie się odbywało ~~odbywałoby się~~ w temperaturze 80°. Pod ciśnieniem mniejszem niż atmosferyczne woda wre więc w temperaturze niższej niż 100°. Wiemy ~~n. p.~~, że na szczytach gór ciśnienie powietrza jest mniejsze niż zwykłe atmosferyczne ciśnienie (§ 84.); to też na szczycie Łomnicy woda wre w temperaturze 91°, na szczycie Mont-Blanc w temperaturze 84·4° zamiast w 100°, jak u poziomu morza.

§ 141. ~~§ 115.~~ Para wodna w powietrzu.

Nalejmy wody do butelki, potem zamknijmy butelkę i postawmy ją w pokoju, gdzie mamy n. p. 15°. Co znajduje się w butelce ponad wodą? Mięszanina dwóch ciał gazowych: powietrza i pary wodnej. Ile jest jednego a ile drugiego? W próżni woda wytworzyłaby parę o ciśnieniu 1·3 *cm*; w obecności powietrza wytworzy ostatecznie parę o takiemsamem ciśnieniu jak w próżni; obecność powietrza nie ma wpływu na ciśnienie nasycenia. Gdybyśmy więc mogli zmierzyć w butelce ciśnienie pary wodnej samej przez się i ciśnienie powietrza samego przez się, przekonalibyśmy się, że pierwsze wynosi 1·3 *cm* a drugie 74·7 *cm;* razem 76 *cm.*

W otwartem powietrzu znajduje się zawsze para wodna, albowiem woda mórz, rzek, jezior, woda znajdująca się w ziemi i w roślinach i wszelka w ogóle woda, prócz szczelnie zamkniętej, wytwarza wciąż parę. Powietrze ~~więc~~ w pokoju ma w sobie również parę wodną a nawet często zawiera jej więcej, gdyż wytwarzają ją ludzie, oddychając, wytwarza ją każdy płomień i t. d. ~~Przy-~~

§ 142. Rosa. Opady atmosferyczne.

Przypuśćmy, że w pewnym pokoju jest tyle pary wodnej, iż sama przez się wywierałaby ~~ona~~ ciśnienie n. p. 0·9 *cm*; temperatura powietrza niech wynosi 15°. Ciśnienie nasycenia wody w 15° równa się 1·3 *cm* (§ 136.), zatem para w tym pokoju, wywierająca tylko 0·9 cm ciśnienia, nie będzie się skraplała, woda ciekła w pokoju będzie parowała. ~~Ale~~ Przypuśćmy, że wnieśliśmy do tego pokoju jakieś zimne ciało, n. p. karafkę pełną śniegu. Powietrze, stykające się z powierzchnią karafki, będzie się oziębiało; temperatura jego zejdzie stopniowo do 14°, do 13° i t. d.; nareszcie, gdy dojdzie do 10°, para wodna, która jest w tem powietrzu, znajdzie się pod swem ciśnieniem nasycenia, gdyż dla 10° ciśnienie 0·9 *cm* jest właśnie ciśnieniem nasycenia wody (§ 136.). Więc w tej temperaturze 10° para wodna, znajdująca się w pobliżu karafki, skropli się i osiądzie na karafce w postaci *rosy*.

Z tego właśnie powodu w porze zimowej szyby w oknach pokrywają się rosą (lub nawet lodem) od strony wewnętrznej, od strony pokoju; ażeby temu zapobiedz, w sklepach palą małe płomyczki w pobliżu szyb w wystawach sklepowych. Jeśli drzwi z ogrzanego pokoju (a jeszcze bardziej z kuchni lub pralni) prowadzą wprost na dwór, widzimy wówczas zimą podczas mrozu, że kłęby pary buchają za każdem otwarciem drzwi; para wodna w pokoju ma ciśnienie mniejsze niż ciśnienie nasycenia, jest więc ciałem gazowem i jest niewidzialna (§ 135 ~~110~~); w temperaturze zaś zewnętrznego powietrza skrapla się i tworzy chmurę, złożoną z ciekłych kropelek. Para, którą wyziewamy z płuc, z tegoż powodu nie skrapla się podczas lata lub w ogrzanym pokoju, skrapla się zaś na mrozie.

W podobny sposób powstają *opady atmosferyczne* ~~(opady atmosferyczne)~~, jak deszcz, śnieg i t. d.; zdarzają się one najczęściej z tej przyczyny, że powietrze wilgotne i ciepłe z nad ziemi podnosi się ku górze, oziębia się przez to lub spotyka się z zimnem powietrzem, skutkiem czego wydziela z siebie parę wodną w postaci ciekłej lub stałej.

§ 143. ~~§ 116~~. Punkty wrzenia różnych ciał.

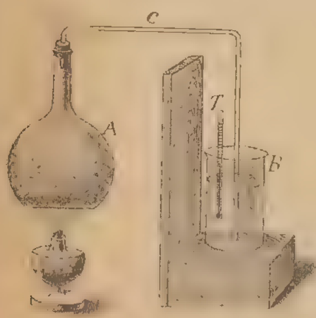
Punkt wrzenia wody pod ciśnieniem atmosferycznem wynosi 100°; punkt wrzenia alkoholu wynosi 78°, punkt wrzenia eteru (t. zw. siarczanego) wynosi 35°. Ciała te nazywamy więc cieczami, gdyż widujemy je zazwyczaj w temperaturach, niższych od ich punktów wrzenia. Gdybyśmy żyli w temperaturze n. p. 40° (w krajach gorących zdarzają się takie upały), eter siarczany byłby dla nas ciałem gazowem. Zupełnie podobnie mają się rzeczy n. p. co do powietrza, z tą tylko różnicą, że punkt wrzenia powietrza leży nadzwyczaj nizko, mianowicie o 190 stopni pod zerem czyli —190°; w tej temperaturze ~~zatem~~ powietrze się skrapla. W temperaturach, w których żyjemy, powietrze znajduje się mniej więcej o 200 stopni ponad swym punktem wrzenia, dlatego jest dla nas ciałem gazowem. Metale, przeciwnie, mają bardzo wysokie punkty wrzenia. Rtęć topi się w —39°, wre zaś w 357°; cynk, który topi się w 412°, wre około 950°. Inne metale wrą jeszcze wyżej i w ogniu naszych pieców nie dochodzą do wrzenia; ale na słońcu znajdują się takiesame metale jak na ziemi; są one tam wszystkie ciałami gazowemi wskutek niezmiernie wysokich temperatur, jakie na słońcu panują.

w temperaturze

§ 144. ~~§ 117~~. Ciepło parowania.

Ш 105

Do naczynia *B* (rys. ~~131~~.) wprowadźmy kilogram wody, mającej temperaturę 0°; naczynie to ochrońmy złymi przewodnikami od dopływu ciepła z zewnątrz, zwłaszcza od płomienia. Przez rurkę *C* wpuszczajmy do *B* parę wodną, która wytwarza się w *A*. Bańki pary z początku nikną w wodzie lodowatej, później przechodzą coraz łatwiej, nareszcie, gdy temperatura w *B* dojdzie do 100°, przestają się skraplać. Zważmy wodę w naczyniu *B*, gdy temperatura dojdzie do 100°; przekonamy się, że przybyło jej 187 gramów. A zatem 187 gramów pary wodnej przyniosło ze sobą i oddało wodzie zimnej w *B* ilość ciepła, potrzebną do ogrzania kilograma wody od 0° do 100°, czyli 100 kaloryi; więc 1 gram pary oddał $\frac{100}{187}$ czyli 0·536 kaloryi; kilogram pary oddałby 536 kaloryi. Widzimy więc, że kilogram pary wodnej, skraplając się, oddaje swemu otoczeniu 536 kaloryi. Odwrotnie też *potrzeba doprowadzić 536 kaloryi, ażeby zamienić kilogram wody ciekłej, mającej 100°, na kilogram pary, również mającej 100°.* Ta ilość ciepła nazywa się *ciepłem parowania* wody.



Rys. ~~131~~. 105.

§ 145. O sztucznem oziębianiu.

Widzimy zatem, że

Ciepło parowania wody jest znaczne; to też, pomimo iż woda paruje bardzo powoli w zwykłej temperaturze, czujemy chłód, gdy kropla wody ulatnia się na dłoni. Ażeby mieć wodę chłodną podczas upałów, dość owinąć karafkę wody w wilgotną serwetę i wystawić ją na wiatr lub dmuchać na nią mieszkiem. Alkohol a jeszcze bardziej eter siarczany ulatniają się prędzej od wody w zwykłej temperaturze; bliżej im w tych temperaturach do punktu wrzenia, wytwarzają więc parę o większem ciśnieniu. Dlatego też alkohol i eter, ulatniając się, chłodzą bardzo znacznie, choć ich ciepło

parowania jest mniejsze, niż wody; kropla eteru sprawia na dłoni wrażenie zimna. Zwilżywszy kapsułkę miedzianą od spodu wodą, nalawszy w nią eteru i kierując na eter silny prąd powietrza, możemy zamrozić wodę, która przylgnęła do kapsułki. Doświadczenie to objaśnia zasadę sztucznego wyrabiania lodu, które dziś w większych miastach często się praktykuje.

78

§ 146. ~~§ 113.~~ Zamiana pracy na ciepło.

Przypomnijmy sobie treść §§ ~~11~~. do 30. Przekonaliśmy się w nich, że *praca nie ginie*. Praca, wydana n. p. na skręcenie sprężyny, na podniesienie kamienia, na rzucenie kuli, nie ginie, nie jest stracona; albowiem sprężyna skręcona ma energię, kamień podniesiony ma energię, kula biegnąca ma energię t. j. może zwrócić nam pracę wydaną. ~~Ale~~ Zapytujemy: gdy przesuwamy ~~n. p.~~ skrzynię po podłodze, wówczas na przezwyciężenie tarcia musimy wydać pewną ilość pracy: czy skrzynia przesunięta ma energię? czy może nam zwrócić pracę wydaną? Co wogóle dzieje się z pracą, idącą na przezwyciężenie jakiegobądź tarcia? Praca nigdy nie ginie; więc praca, którą wydajemy na przezwyciężenie jakiegobądź tarcia, musi się w coś przeobrażać czyli na coś zamieniać. Istotnie; *zamienia się ona na ciepło.* Przypomnijmy sobie, że każda oś w powozie, wagonie kolejowym czy jakiejkolwiek maszynie *grzeje się* ~~przez~~ tarcie o panewkę; ażeby tego uniknąć, staramy się o zmniejszenie tarcia, smarując trące się powierzchnie. Przyciskajmy kawałek żelaza do obwodu koła, które się prędko obraca a rozgrzejemy żelazo tak znacznie, że niepodobna będzie utrzymać go w dłoni. Dzicy nie innym sposobem, jak tarciem, rozniecają ogień a i my posługujemy się tym sposobem, ażeby zapalić zapałkę t. j. ażeby doprowadzić jej łebek do temperatury, w której zaczyna się palić. Gdy przesuwamy więc skrzynię po podłodze, pewna ilość ciepła niewątpliwie musi powstawać i temperatura skrzyni i podłogi musi nieco się podnosić, choć tak nieznacznie, że potrzebaby użyć czułych przyrządów, ażeby ~~się o tem przekonać~~.

Widzimy zatem, że przez tarcie praca zamienia się na ciepło. Gdy kowal uderza ciężkim młotem sztabę żelazną, praca jego mięśni zamienia się z początku na energię ruchu, następnie ta energia podczas uderzenia zamienia się na ciepło. Widzimy w nocy, że iskry wyskakują koniom na bruku z pod podków; to dowodzi, że uderzenie żelaza o kamień jest zdolne nie tylko odłupać drobny odłamek kamienia, lecz i rozgrzać go do białości. Potrząsając mocno butelką, w której ~~jest~~ woda, możemy podnieść temperaturę wody o kilka stopni. *Wszelka energia zamienia się łatwo, jak gdyby chętnie, na ciepło.*

§ 147. ~~§ 114.~~ Z pewnej ilości pracy otrzymuje się zawsze pewną ilość ciepła.

Ażeby podnieść kilogram o wysokość metra, trzeba wykonać pracę, zwaną kilogrammetrem, którą, jak wiadomo z § ~~31~~., obiera się często za jednostkę pracy.

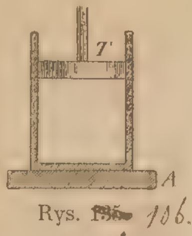
Z wielu doświadczeń uczeni przekonali się, że z 425 kilogrammetrów pracy otrzymuje się zawsze 1 kalorye ciepła, jeśli praca *całkowicie* zamieniła się na ciepło. Żeby otrzymać 2 kalorye ciepła, trzeba 850 kilogrammetrów pracy; żeby otrzymać 3 kalorye, trzeba 1275 kilogrammetrów i t. d. Przeciwnie, z 1 kilogrammetra otrzymuje się $\frac{1}{425}$ część kaloryi i t. d. Wy~~obraźmy~~ sobie ~~n. p.~~, że kilogram wody spada na podłogę kamienną z wysokości 425 metrów. Praca, którą wykonała siła ciężkości, ściągając kilogram ku dołowi, wynosi 425 kilogrammetrów; powinno ~~się~~ więc pojawić się w owym kilogramie ~~ciepło~~ w ilości jednej kaloryi. Ponieważ jest to kilogram wody, więc temperatura podniesie się o 1 stopień; gdyby ciepło, wytworzone z 425 kilogrammetrów pracy, pojawiło się

Marginal corrections: // 22; / jednak; (§ 26)?; skutkiem; a; to bezpośrednio udowodnić.; nieiedy; znajduje się; // 38; wyobraźmy; ciepło; jej

w kilogramie miedzi, ilość ciepła tego wynosiłaby znowu 1 kaloryę, ale temperatura podniosłaby się o 10 stopni (por. § 10[illegible].); gdyby to był kilogram rtęci, podniosłaby się o 30 stopni (§ 10[illegible].). Zatem podniesienie temperatury zależy od rodzaju ciała, ale *ilość ciepła* wytworzonego nie zależy ani od rodzaju ciała, ani od czego innego, jak *tylko od ilości pracy*, przeobrażonej na ciepło.

§ 120. Zamiana ciepła na pracę.

Rozgrzejmy jakiebądź ciało tarciem lub szeregiem uderzeń. Wydaliśmy na to pewną pracę; lecz praca ta nie jest stracona. Ciało gorące nawzajem może teraz wykonać pracę, do której zimne nie byłoby zdolne. Wyobraźmy sobie, n. p., że płytka *A* została rozgrzana tarciem lub szeregiem uderzeń i że postawiono na niej walec metalowy, w którym porusza się gładko szczelny tłok *T* (rys. 135.); w walcu znajduje się, przypuśćmy, powietrze. Podniesiona temperatura płyty udzieli się przez dno walca powietrzu; powietrze zacznie się rozszerzać, będzie podnosiło tłok przeciwko zewnętrznemu ciśnieniu atmosfery, będzie więc wykonywało pracę. Albo też, gdyby nieco wody znajdowało się w walcu, wówczas pod działaniem przenikającego ciepła, woda parowałaby, ciśnienie pod tłokiem wzrastałoby i moglibyśmy znowu uzyskać pewną ilość pracy. Widzimy więc, że praca, wydana na rozgrzanie jakiegobądź ciała, nie jest stracona; *ciało gorące ma energię* i nawzajem może wykonać pewną pracę, byleby mogło odstąpić swego ciepła ciału zimniejszemu od siebie, n. p. powietrzu, które się przez to rozszerzy, lub wodzie, która będzie przez to parowała. Jak sprężyna musi się rozkręcać, żeby wydać swoją energię; jak kamień podniesiony musi się obniżyć, żeby wydać swoją energię; jak pocisk biegnący musi się zatrzymać, żeby wydać swoją energię; podobnie ciało gorące musi oddać ciepło, żeby wydać swoją energię i temsamem wykonać pracę.



Rys. 135.

§ 121. Z pewnej ilości ciepła otrzymuje się zawsze pewną ilość pracy.

Wyobraźmy sobie, że w walcu, rys. 135, znajduje się pod tłokiem powietrze i że ogrzewamy je o 100°. Możemy przytem bądź pozwolić rozszerzać się powietrzu; bądź też możemy nie pozwolić mu się rozszerzać, utwierdziwszy n. p. tłok w miejscu. W pierwszym razie powietrze, ogrzewając się, będzie wykonywało pracę; w drugim razie powietrze będzie się tylko ogrzewało i nie będzie wykonywało pracy. *To też w pierwszym razie powietrze będzie pochłaniało więcej ciepła niż w drugim; różnica jest ilością ciepła, jaka w pierwszym razie zamienia się na pracę.* Przypuśćmy n. p., że w walcu pod tłokiem znajduje się 1 m^3 powietrza o temperaturze 0° i że powierzchnia tłoka ma 1 m^2 rozległości. W takim razie tłok znajduje się w odległości 1 m od dna walca w 0° i posuwa się do odległości 1·37 m w 100°, jeśli pozwalamy powietrzu rozszerzać się swobodnie pomiędzy 0° a 100° (§ 94). Lecz z § 65. wiadomo, że ciśnienie atmosferyczne, które tłok, posuwając się, musi przezwyciężać, cięży na nim tak, jak gdyby na nim 10260 kg leżało. A więc, rozszerzając się od 0° do 100°, powietrze jak gdyby podnosi 10260 kg o wysokość 0·37 m, wykonywa więc pracę 3796·2 kilogrammetrów. Ta praca bierze się, jak powiedziano, z nadmiaru ciepła, jakie powietrze pochłania, gdy ogrzewa się, rozszerzając się swobodnie. Owóż wiadomo, że metr sześcienny powietrza pochłania o 8·93 kaloryi więcej, gdy rozszerza się, niż gdy nie rozszerza się, ogrzewając się o 100°. A zatem z 8·93 kaloryi powstaje tu 3796·2 kilogrammetrów; innemi słowy, z 1 kaloryi ciepła powstaje 425 kilogrammetrów pracy, taksamo, jak

z 425 kilogrammetrów pracy powstawała 1 kalorya ciepła (§ 44).

H 147 — 80

§ 150. O rozprężaniu się gazów.

Gdybyśmy kazali powietrzu rozszerzać się i wykonywać pracę a nie doprowadzali mu z zewnątrz ciepła, powietrze wydałoby na wykonanie tej pracy część swego własnego ciepła t. j. oziębiłoby się. Dlatego ciało gazowe, które zmuszamy do rozszerzania się i wykonywania pracy, oziębia się. ~~Aeby to okazać~~ Takie zjawisko nazywamy rozprężaniem się gazu. O oziębianiu się, towarzyszącem rozprężaniu się gazu możemy przekonać się doświadczeniem następującem. Nasyćmy powietrze pod kloszem pompy pneumatycznej parą wodną (zawiesiwszy pod nim na czas pewien n. p. arkusz wilgotnej bibuły); następnie pociągnijmy powietrze pompą. Oziębienie powietrza zdradzi się natychmiast obłoczkiem, który dowodzi, że część pary wodnej uległa skropleniu.

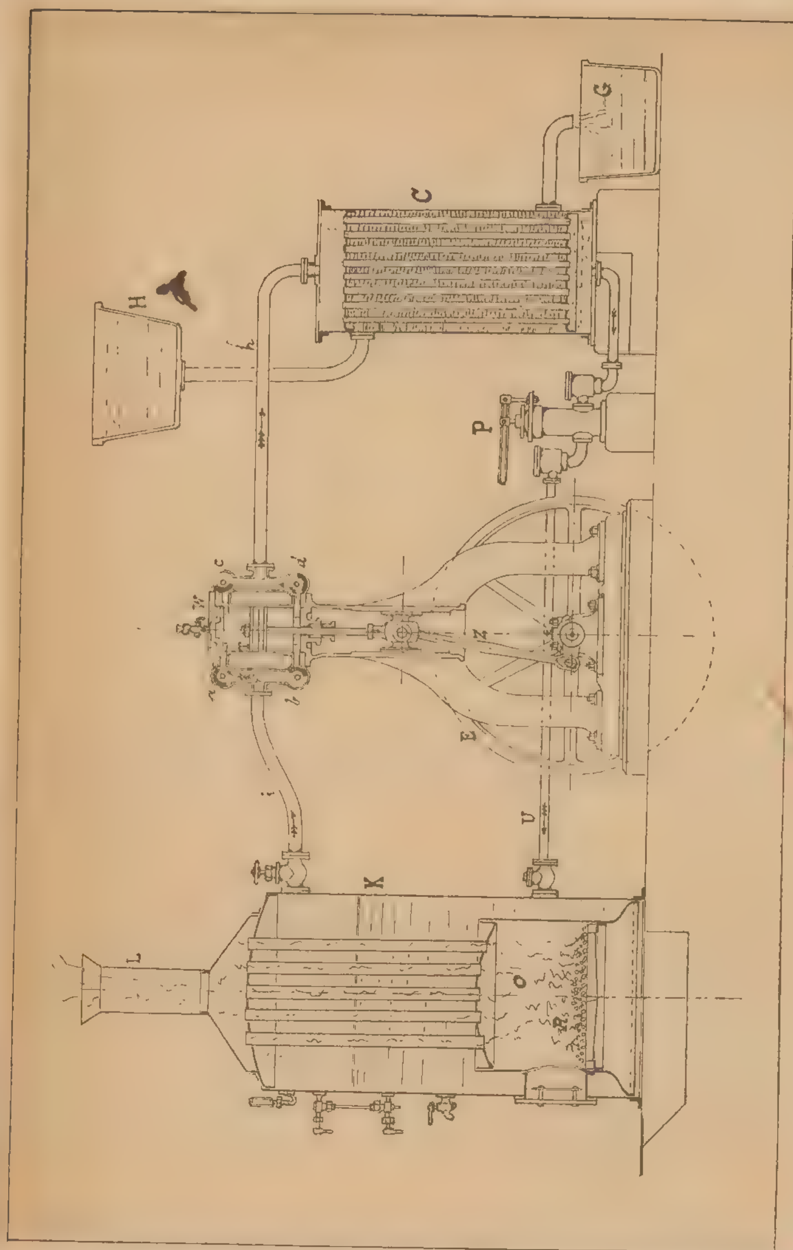
Odwrotnie

§ 151 ~~§ 122~~. O maszynach parowych.

Maszyny parowe bywają rozmaitej budowy; ~~zawsze~~ jednakże składają się zawsze z następujących części istotnych: kocioł ~~(kotea)~~ wraz z ogniskiem ~~(ognisko)~~ (*K*, *O* na rys. ~~95~~); walec parowy czyli cylinder (*W*), w którym porusza się tłok ~~(tołok)~~ (*T*); chłodnik czyli kondensator ~~(kondensator)~~ (*C*) oraz pompa (*P*). Rysunek ~~96~~ H 107, na którym widzimy wszystkie te części składowe, wyobraża, z pewnemi uproszczeniami, rzeczywiste urządzenie maszyny parowej. W kotle *K* znajduje się woda. Pod działaniem ciepła ogniska woda ta wytwarza parę, która rurą *i* udaje się do walca *W*. Do tego walca ma ona, jak widzimy z rysunku, dostęp *dwojaki*: bądź przez wentyl ~~(zasuwka)~~ czyli rodzaj kurka *a*, przyczem dostaje się *nad* tłok *T*, bądź też przez wentyl *b*, przyczem dostaje się *pod* tłok *T*. W pierwszym razie para pcha tłok ku dołowi, w drugim wypycha go ku górze. Urządzenie tych wentyli *a*, *b* jest takie, że, gdy jeden jest otwarty, drugi jest zamknięty. Dla *wypływu* pary z walca istnieją podobnie dwie drogi, jedna przez wentyl *c* z nad tłoka, druga przez wentyl *d* z pod tłoka. Te znowu są tak zbudowane, że *d* otwiera i zamyka się wraz z *a*, *c* zaś otwiera i zamyka się wraz z *b*. Otwieranie i zamykanie się wentyli *a* i *d* oraz *b* i *c* (~~które~~ nie pokazane na rysunku) łączy się z ruchem tłoka *T* i rękojeści *Z*, która idzie za tłokiem. Para ~~więc~~, napływająca z kotła, bądź zastaje *a* i *d* otwarte, *b* i *c* zamknięte, H w sposób I/y wypycha więc tłok *T* ku dołowi (takie właśnie położ... rzeczy

Rysunek 107, który wypełnia całą stronicę, proszę umieścić gdziekolwiek bądź, byle wewnątrz niniejszego §

widzimy na rysunku); bądź też zastaje *a* i *d* zamknięte, *b* i *c* otwarte a wówczas wypycha tłok *T* ku górze. W obu razach dawna para »*zużyta*« (w pierwszym razie z pod tłoka, w drugim razie z nad tłoka) zostaje wydalona, przez rurę *h*, do chłodnika *C*, gdzie, oziębiana przez przepływającą (z *H* do *G*) zimną wodę, skrapla czyli »kondensuje« się i w postaci wody ciekłej, działaniem pompy pomocniczej *P*, bywa przepompowywana przez rurę *U* do kotła *K*. Ruch tłoka *T* za pośrednictwem rękojeści *Z* przenosi się na oś, na której osadzone jest koło rozpędowe ~~(koło rozpędowe)~~ *E*.



Rys. 107

Ciepło jest pewnego rodzaju energią.

Czem[redacted] jest ciepło? Co przechodzi z płomienia lampy na lód, zamienia lód na wodę, obraca wodę w parę?

Ciepło nie jest [redacted] ciałem, bo nie posiada masy. Wiemy, że ciało gorące nie ma większej masy, niż kiedy jest zimne (§ 93.). Z jednego kilograma lodu powstaje 1 *kg* wody a nie więcej; podobnież z jednego kilograma wody ciekłej powstaje 1 *kg* pary wodnej a nie więcej.

Ciepło jest pewnego rodzaju energią, albowiem trzeba wydać pracę, ażeby powiększyć ilość ciepła, zawartą w pewnem ciele; albowiem nawzajem takie ciało może wówczas wykonać pracę, do której przedtem nie było zdolne.

// 113

83

Rozdział piąty.

O elektryczności.

§ 153.

~~§ 124.~~ Kwasy działają chemicznie na metale.

Nalejmy wody do szklanki i dodajmy ostrożnie nieco (siarczanego) kwasu ~~siarkowego (kwas siarczany) (t. zw. witryolu)~~ (zwanego także „kwasem siarkowym” albo też pospolicie „witryolem”); następnie do zakwaszonej w ten sposób wody włóżmy (rys. 108.) kawałek blachy cynkowej. Zauważymy, że między wodą zakwaszoną a cynkiem zaczyna się zaraz pewne działanie. Woda syczy, kotłuje się i niebawem ogrzewa się wyraźnie; ~~Dalej,~~ maleńkie pęcherzyki gazowe wydobywają się na powierzchnię wody; blachy cynkowej zaczyna ubywać; woda zakwaszona ją niszczy, przegryza, podobnie jak czysta woda czyni to z cukrem. Mawia się też nieraz, że cynk »rozpuszcza się« w wodzie zakwaszonej; lecz, co tutaj się dzieje, jest tylko z pozoru podobne do rozpuszczania się cukru, albowiem metalicznego cynku nie można otrzymać napowrót przez odparowanie wody, jak to można z cukrem uczynić. Cynk nie rozpuszcza się właściwie w wodzie zakwaszonej, lecz rozkłada kwas w niej zawarty, tworzy pewną sól (t. zw. siarczan cynku) i wydziela wodór gazowy, jak wiadomo z Chemii.



Rys. ~~137.~~ 108.

Mamy tu zatem dwa zjawiska ~~(naraz)~~: 1. *działanie chemiczne*; 2. *wydzielanie się ciepła*. Te dwa zjawiska są w ~~ścisłym~~ związku ze sobą: im więcej cynku zamienia się na siarczan cynku, tem więcej ciepła się wydziela. Każdy gram cynku, zamienionego na siarczan cynku, wytwarza pewną *ilość ciepła*, ~~którą można zmierzyć w~~ pewną liczbę kaloryj, podobnie jak każdy gram węgla, spalonego w piecu lub każdy gram nafty, wypalonej w lampie, wytwarza pewną ~~ilość ciepła.~~ liczbę kaloryj.

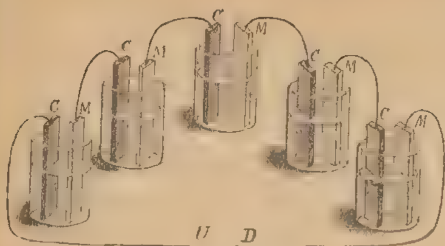
§ ~~125~~ 154. Ogniwo elektryczne.

Weźmy ~~teraz~~ dwie blaszki: cynkową *C* i miedzianą *M*, do których przylutowano po kawałku drutu; wstawmy je do wody zakwaszonej, jak okazuje rys. ~~138~~ 109. Nazywamy taki przyrząd *ogniwem elektrycznem* ~~(...)~~; koniec *D* drutu, idącego od miedzi, nazywamy *biegunem dodatnim* ~~(...)~~ (+) *ogniwa*; koniec *U* drutu, idącego od cynku, nazywamy *biegunem ujemnym* ~~(...)~~ (—). Połączmy ze sobą końce *D* i *U* czyli, jak się mówi, *zamknijmy obwód ogniwa*; zważajmy jednak, ażeby same blaszki *M*, *C* nigdzie nie dotykały się siebie. Działanie chemiczne pomiędzy cynkiem a wodą zakwaszoną odbywa się wówczas, cynk zużywa się, jak poprzednio, ale pęcherzyki wodoru nie ukazują się na blaszce cynkowej; nieco pęcherzyków ukaże się teraz *na blaszce*



Rys. ~~138.~~ 109.

83



Rys. ~~130.~~ 110.

miedzianej. Dzieje się tutaj tak, jak gdyby wodór w sposób niewidzialny przenosił się przez ciecz z cynku na miedź.

§ 155. ~~§ 126.~~ **Baterya elektryczna.**

Zbudujmy kilka lub kilkanaście ogniw i połączmy je ze sobą tak (rys. 110.), ażeby biegun dodatni pierwszego ogniwa łączył się z ujemnym drugiego, dodatni drugiego z ujemnym trzeciego, dodatni trzeciego z ujemnym czwartego i t. d.; taki zbiór ogniw nazywamy elektryczną *bateryą*. Na krańcach bateryi pozostają swobodne dwa bieguny *D*, *U*; zachowują się one, jak bieguny jednego ogniwa, tylko mocniejszego niż pojedyncze ogniwo. Powiadamy, że baterya elektryczna jest jakby jednem ogniwem o wielkiej mocy czyli o wysokiem »napięciu«. Im więcej ogniw połączymy w opisany sposób ze sobą, tem wyższe będzie napięcie bateryi.

§ 156. ~~§ 127.~~ Ciepło w obwodzie.

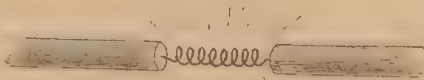
Powróćmy do pojedynczego ogniwa (§ 154.). Skoro tylko obwód jest zamknięty, możemy zauważyć nowe dziwne zjawisko. Oto *drut MDUC ogrzewa się.* Gruby drut ogrzewa się ~~—~~ bardzo słabo; ~~jeśli jest gruby;~~ lecz drut cieniutki, zwłaszcza żelazny lub platynowy, ogrzewa się wyraźnie. Powtórzmy to spostrzeżenie na obwodzie silnej elektrycznej bateryi. Połączmy bieguny *D*, *U* bateryi zapomocą cienkiego żelaznego lub platynowego drucika; drucik ogrzewa się mocno; gdy ogniw jest wiele, może rozpalić się do czerwoności, do białości, a nawet uledz stopieniu. Powiadamy: *w obwodzie ogniwa elektrycznego* (lub bateryi) *pojawia się ciepło.*

Skąd się to ciepło bierze? Nie może ono tworzyć się samo przez się, nie może powstawać z niczego. Ciepło jest pewnym rodzajem energii a energia, jak wiemy, nigdy nie powstaje z niczego. ~~Ciepło~~

§ 1[illegible]. Źródło ciepła, pojawiającego się w obwodzie

Ciepło w obwodzie pojawia się kosztem (innego) ~~owego~~ ciepła, (mianowicie tego) które wydzielało się w ogniwie skutkiem odbywającego się tam chemicznego działania. Gram cynku, zamieniając się na siarczan cynku, ~~(siarczan cynku)~~ wytwarza zawsze pewną ilość ciepła; poprzednio ~~(§ 124.)~~, w doświadczeniu § 153-go, całe to ciepło pojawiało się w samem miejscu chemicznego działania, teraz zaś *część tego ciepła pojawia się w obwodzie a tylko reszta pojawia się w ogniwie.* Innemi słowy: w samem ogniwie zmniejszyła się teraz ilość pojawiającego się ciepła ale zato inne, nowe ciepło pojawia się w obwodzie ogniwa.

Zwykłem pismem



Rys. ~~140.~~ 111.

Możemy sprawić, ażeby ciepło w obwodzie pojawiało się tak daleko od ogniwa, jak nam się podoba. Weźmy dwa grube pręty miedziane, długie n. p. na dwa metry; użyjmy ich za druty *MD* i *CU*, wprowadźmy mianowicie pomiędzy nie cieniutki

III 110

III 154

drucik żelazny lub platynowy (rys. 111). W prętach nie dostrzegamy żadnego rozgrzania; drucik, przeciwnie, rozgrzewa się do czerwoności. Zatem dzieje się tutaj tak, jak gdyby część ciepła, pochodzącego z chemicznego działania w ogniwach, w sposób niedostrzegalny przenosiła się do żelaznego czy platynowego drucika, o dwa metry od ogniw i tam dopiero pojawiała się znowu jako ciepło.

§ 158. Działanie chemiczne w obwodzie.

Połączmy bieguny *D* i *U* bateryi (rys. 110.) z dwiema blaszkami, wyrobionemi *z platyny*, metalu, na który zwykłe kwasy nie działają. Weźmy nieco *siarczanu cynku* t. j. tejsamej soli, jaka tworzy się w ogniwie (§ 153.) i zanurzmy platynowe bieguny bateryi, jak okazuje rys. 112., do roztworu soli tej w wodzie. Cynk czysty osadza się wówczas na blaszce, która jest połączona z ostatnim cynkiem bateryi czyli na ujemnym biegunie bateryi. Jednocześnie woda staje się kwaśną; tworzy się albowiem tutaj kwas siarczany, którego w roztworze coraz więcej przybywa. Mamy więc teraz rozkład siarczanu cynku, czyli zjawisko wprost przeciwne temu, które widzimy w ogniwie (rys. 109; § 154.) Tu przybywa cynku i przybywa kwasu, w ogniwie zaś i cynku i kwasu ubywało. A zatem, gdy wykonywamy opisane doświadczenie, w ogniwach bateryi siarczan cynku tworzy się; jednocześnie zaś w obwodzie bateryi, w roztworze, siarczan cynku rozkłada się i więc w obwodzie odbywa się wprost przeciwne chemiczne działanie, niż w ogniwie / w d. c. —

Rys. 112.

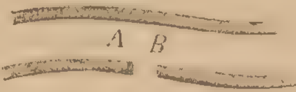


— (W opisanem tu doświadczeniu kwas siarczany, tworzący się skutkiem rozkładu soli, powinien niebawem również ulegać rozkładowi; dlatego na blaszce, połączonej z biegunem ujemnym oprócz cynku, powinien niebawem wydzielać się wodór. Ażeby dogodnie okazać wydzielanie się cynku metalicznego, można dodać do roztworu nadmiaru ciała żrącego t. zw. szczawianem amonowym.)

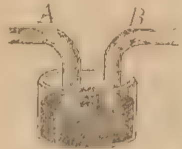
§ 159. Prąd elektryczny. Przewodniki.

Wszystkie te skutki przypisujemy *prądowi elektrycznemu*, który tworzy się w ogniwie i przechodzi przez obwód. Powiadamy, że przez pręty (rys. 111.) płynie prąd elektryczny; że dzięki prądowi elektrycznemu część ciepła, pochodzącego z chemicznego działania w ogniwie, przeniosła się do drucika o dwa metry od ogniwa w sposób niedostrzegalny i dopiero tam, w druciku, pojawiła się znów jako ciepło. Powiadamy, że dzięki prądowi działanie chemiczne w ogniwie wytwarza wprost przeciwne działanie chemiczne w roztworze siarczanu cynku, w dowolnej od ogniwa odległości. O prętach powiadamy, że prąd przez nie *przechodzi*;

inaczej mówimy, że one prąd *przewodzą* lub że są *przewodnikami prądu* ~~(przewodnikami toku)~~. Przepiłujmy jeden z tych prętów i rozsuńmy końce *A*, *B* (rys. 113.) dwóch części, na które rozdzieliliśmy pręt tym sposobem; drucik przestaje natychmiast świecić, rozkład siarczanu cynku w szklance przerywa się natychmiast. A zatem *powietrze nie przewodzi prądu.* Włóżmy końce *A*, *B* do miseczki z rtęcią (rys. 114.); drucik zaczyna świecić napowrót, rozkład siarczanu cynku znów się rozpoczyna. A zatem *rtęć przewodzi prąd.* Zupełnie podobnie możemy przekonać się, że roztwór siarczanu cynku lub woda zakwaszona przewodzą prąd elektryczny. A zatem widzimy teraz, że roztwór siarczanu cynku w szklance (rys. 112) przewodził prąd; że woda zakwaszona w samem ogniwie także przewodziła. Zatem powiadamy: prąd przechodzi nie tylko przez druty i pręty, nie tylko przez roztwór siarczanu cynku, znajdujący się w obwodzie, lecz również przez *samo ogniwo; prąd krąży jak gdyby dokoła przez ogniwo i przez cały obwód.*



Rys. 113.



Rys. 114

Końcami *A*, *B* (rys. 113.) dotknijmy kawałka szkła, porcelany, kauczuku, kalafonii, bursztynu, laku, jedwabiu, wełny: prąd nie przechodzi. Wszystkie te ciała są więc *złymi przewodnikami prądu* czyli *izolatorami*; stawiają one nadzwyczaj znaczny *opór* przejściu prądu. Węgiel i wszystkie metale (n. p. miedź, cynk, srebro, platyna, ołów i t. d.) ~~i t. d.~~ są przeciwnie *dobrymi przewodnikami* prądu elektrycznego.

§ 160. Elektroliza.

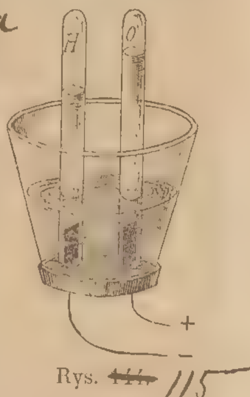
Prąd elektryczny, przechodząc przez rtęć, nie rozkłada jej; rtęć jest, jak wiadomo, *pierwiastkiem* ~~(nopsem)~~ *chemicznym* czyli nie rozkładającem się ciałem. Poprowadźmy teraz prąd przez jakiebądź ciało złożone; do szklanki n. p. (rys. 112.) nalejmy wodnego roztworu siarczanu miedzi (t. zw. koperwasu miedziowego) i połączmy blaszki z biegunami bateryi. Na blaszce, połączonej z biegunem ujemnym, osadza się *miedź*, w roztworze zaś przybywa kwasu siarczanego. A zatem prąd, który powstaje przez tworzenie się siarczanu cynku, może rozkładać nie tylko tensam znowu siarczan cynku, lecz również i inne ciała złożone. Zupełnie podobnie, prąd elektryczny, przechodząc przez roztwór wodny kwasu siarczanego lub solnego, przez roztwór wodny soli kuchennej (chlorku sodowego) lub lapisu (azotanu srebrowego) lub jodku potasowego, wywołuje w tych ciałach zjawiska rozkładu chemicznego. Natomiast przez naftę, przez oliwę lub przez terpentynę prąd nie przechodzi i oczywiście nie rozkłada tych ciał.

Rozkład, sprawiany przez prąd elektryczny, nazywa się *elektrolizą*; ciała, które prąd rozkłada, nazywają się *elektrolitami*. Gdy elektrolizujemy kwas siarczany lub solny, wodór wydziela się na biegunie ujemnym, pozostałe zaś części składowe kwasu (chlor, związki tlenu z siarką) wydzielają się na biegunie dodatnim. Gdy elektrolizujemy jakąkolwiek sól, na biegunie ujemnym wydziela się *metal*, zawarty w soli; na biegunie dodatnim wydzielają się pozostałe części składowe soli. Gdy n. p. elektrolizujemy lapis, na biegunie ujemnym osadza się srebro; rozumiemy przeto, jak można srebrzyć a także złocić, niklować i t. d. zapomocą prądu elektrycznego. Gdy elektrolizujemy jodek potasu, *potas* gromadzi się na ujemnym biegunie (gdzie natychmiast ~~przechodzi w reakcyę z~~ wodę), na dodatnim zaś wydziela się swobodny *jod*. Jeśli dodamy do roz-

tworu nieco zaprawy krochmalnej, najmniejsze ilości tworzącego się jodu zdradzać się będą niebieskiem zabarwieniem, tak iż zapomocą elektrolizy jodku potasu można wykrywać obecność nawet bardzo słabych prądów.

§ 161. Elektroliza wody.

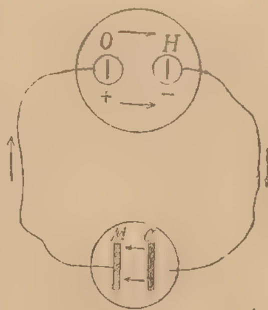
Czysta woda stawia znaczny opór przejściu prądu, jest złym przewodnikiem; nalawszy czystej wody do szklanki (rys. 115.) i przepuszczając prąd, nie dostrzegamy elektrolizy wody. Lecz dodajmy kilka kropel kwasu (siarczanego lub solnego) a natychmiast dwa strumienie pęcherzyków gazowych pobiegną ku powierzchni, jakby wyrywając się z blaszek platynowych. Ażeby zebrać te pęcherzyki, nakryjmy blaszki zamkniętemi rurkami szklanemi, wypełnionemi również wodą zakwaszoną i przewróconemi nad cieczą, jak pokazuje rys. 115.; przyrząd, tu przedstawiony, nazywa się *woltametrem*. Na biegunie dodatnim wydziela się *tlen* ~~([illegible])~~ (*O*, z łac. *Oxygenium*), na ujemnym — *wodór* ~~([illegible])~~ (*H*, z łac. *Hydrogenium*); wodoru jest na objętość dwa razy więcej niż tlenu. (Do tego doświadczenia potrzeba mocnego prądu; najlepiej użyć kilku ogniw, opisanych niżej, w § 166).



Rys. 115

§ 162. Uwaga dodatkowa o ogniwie elektrycznem

Rozumiemy teraz, dlaczego w ogniwie wydziela się wodór, skoro tylko obwód jest zamknięty (§ 154.). Albowiem prąd przechodzi wówczas przez wodę zakwaszoną samego ogniwa i wodę tę elektrolizuje. Dlaczego zaś wodór wydziela się na miedzi? Wyobraźmy sobie (rys. 116) ogniwo *MC* (dla uproszczenia narysowano tylko jedno) oraz woltametr *OH*, w którym elektrolizuje się woda; wszystko to jak gdyby przecięte poziomą płaszczyzną. Wiemy, że prąd przechodzi jak gdyby dokoła przez ogniwo i przez cały obwód. Idźmy n. p. od miedzi *M* do bieguna *O* w woltametrze *OH* i taksamo dalej, jak wskazują strzałki; widzimy, że wodór w woltametrze zbiera się tam, gdzie *wychodzimy* z cieczy t. j. w miejscu *H*. W ogniwie idziemy od *C* do *M*, wodór przeto w ogniwie zbiera się znowu tam, gdzie wychodzimy z cieczy t. j. na miedzi *M*.



Rys. 116

§ 163. Żeby rozłożyć wodę, trzeba wykonać pracę.

Wiadomo z Chemii, że wodór łączy się chętnie z tlenem, że n. p. pali się w tlenie; przez to powstaje woda. Zatem rozkład wody i palenie się wodoru w tlenie są to zjawiska, wręcz przeciwne sobie. W pierwszem woda rozkłada się na wodór i tlen, w drugiem wodór i tlen łączą się, dając wodę. W obu razach ani zyskujemy, ani tracimy na *masie*. Z dziewięciu gramów wody otrzymujemy zawsze jeden gram wodoru i ośm gramów tlenu, ani mniej, ani więcej; z grama wodoru i z ośmiu gramów tlenu otrzymujemy dziewięć gramów wody. ~~[illegible]~~ Masa wody jest

87

wobu zarad równa łącznej masie obu składników.

Zwróćmy teraz uwagę na *energię* wody i na *energię* składników. Wiemy, że wodór, łącząc się z tlenem, wydziela znaczną ilość ciepła: płomień wodoru w tlenie jest źródłem znacznego gorąca. Każdy gram wodoru, łącząc się z ośmiu gramami tlenu, wydziela 34·6 kal. Wyobraźmy sobie zatem 1 gram wodoru, zmieszany z 8 gramami tlenu, ale nie połączony z nimi; następnie przypuśćmy, że utworzyło się z nich 9 *g* wody. Przez połączenie się wydzieli się 34·6 kal., które musimy odebrać, jeżeli chcemy mieć wodę w tej samej temperaturze, w jakiej mieliśmy wodór i tlen. A zatem dziewięć gramów wody zawiera w tej samej temperaturze *mniej* energii niż mieszanina 1 grama wodoru i 8 gramów tlenu, mianowicie mniej o 34·6 kal.; inaczej mówiąc, wodór i tlen zawierają *więcej* energii, niż woda, mianowicie więcej o 34·6 kal. na każdych 9 *g* wody. *Żeby więc rozłożyć wodę, trzeba dostarczyć pracy, trzeba wyłożyć energię*, mianowicie trzeba wydać conajmniej 34·6 kal. na rozkład każdych 9 *g* wody.

§ 164. Energia prądu elektrycznego.

Tę właśnie pracę wykonywa w woltametrze prąd elektryczny. Prąd przynosi ze sobą energię, wpływając do woltametru. — Prąd elektryczny nie jest bynajmniej płynięciem jakiegoś płynu w obwodzie; każdy płyn ma masę a prąd elektryczny nie ma masy Ciepło nie ma masy i prąd elektryczny nie ma masy. Ciepło jest pewnego rodzaju energią i prąd elektryczny jest napływem osobnego rodzaju energii. Lecz skąd bierze się energia prądu? Energia prądu, jak wiemy (§ 159.), jest tylko nową formą energii ciał, działających na siebie wzajemnie w ogniwie. Kwas siarkowy i cynk mają *energię chemiczną*, podobnie jak wodór i tlen mają energię chemiczną. W ogniwie energia chemiczna kwasu siarkowego i cynku zamienia się na energię elektryczną (reszta jej pojawia się tam jako ciepło); energia ta elektryczna w woltametrze zamienia się znowu na chemiczną, której zapas zawiera woltametr nabity.

Ш -czany

Ш -czan.

§ 165. O polaryzacji.

~~Skoro~~ Woltametr nabity zawiera zapas energii chemicznej, podobnie jak ogniwo, gotowe do działania; ~~więc nie dziwnego, że~~ dlatego z nabitego woltametru można otrzymać prąd elektryczny. Odłączmy końce (+) i (—) drutów woltametru (rys. ~~114~~ 115.) od biegunów bateryi i połączmy je ze sobą. Przekonamy się, że *w obwodzie woltametru* (przez krótki czas) *mamy teraz prąd.* Woltametr zachowuje się jakby ogniwo; blaszka *H*, na której wydzielał się wodór, jest ujemnym biegunem tego ogniwa, druga zaś blaszka *O* jest jego biegunem dodatnim. Na ~~takiej~~ podobnej zasadzie polega budowa *akumulatorów* czyli przyrządów, służących do gromadzenia i przechowywania energii elektrycznej.

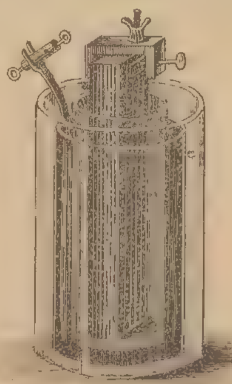
Wiemy, że prąd płynie nie tylko przez druty i woltametr, lecz również i przez samo ogniwo; że w samem ogniwie sprawia również elektrolizę. Dlatego w ogniwie, ~~dzieje się to samo, co w woltametrze~~ obok prądu głównego, poczyna wytwarzać się niebawem, wskutek wydzielania się wodoru na miedzi, prąd drugi dodatkowy, wprost przeciwny głównemu. Płaszka miedziana w ogniwie jest biegunem dodatnim dla prądu głównego, lecz dla dodatkowego jest ujemnym. Z tego powodu prąd główny ogniwa niebawem słabnie i znika prawie zupełnie; mówi się, że ogniwo jest *spolaryzowane*.

§ 166. Ogniwa, dające prąd trwały

Ażeby ogniwo dawało prąd trwały, potrzeba zatem niszczyć swobodny wodór, zbierający się na miedzi; dodając do cieczy soli, zwanej dwuchromianem potasowym, sprawiamy, iż wodór ten utlenia się i zamienia się tym sposobem na wodę. Najlepiej jest dodawać 100 *g* dwuchromianu potasowego na litr wody, zawierającej 50 *g* kwasu siarczanego; taka ciecz będzie przeszkadzała skutecznie polaryzacyi ogniwa, dopóki dwuchromian potasowy nie zostanie zużyty. Lecz ponieważ nagryza ona miedź, przeto, zamiast płytki miedzianej, używa się zazwyczaj płytki, zrobionej z platyny lub z węgla (najlepiej z t. zw. koksu gazowego). Na rys. 117 widzimy takie ogniwo; pomiędzy dwiema płytkami węglowemi znajduje się płytka cynkowa, którą należy wyciągać z cieczy, gdy ogniwo nie jest czynne. Istnieją jeszcze rozmaite inne rodzaje ogniw; dają one prąd trwały, dopóki ciała, zapobiegające polaryzacyi, nie są zużyte. Ogniwo Bunsena (rys. 118) n. p. zawiera wodę zakwaszoną, cynk *c* i węgiel *w* (koks gazowy); dla zapobiegania polaryzacyi, węgiel jest otoczony mocnym kwasem azotowym (~~rys. 145~~), który znowu, ażeby nie mieszał się (lub mieszał się powoli) z wodą zakwaszoną, znajduje się w naczyniu porowatem z gliny niewypalonej. ~~Ogniwo Leclanchégo składa się z roztworu salmiaku, z cynku i węgla, otoczonego dwutlenkiem manganu; ogniwo to, jeśli bywa używane za każdym razem przez czas krótki, może długo trwać w gotowości do działania; z tego powodu nadaje się ono do telegrafów, dzwonków elektrycznych i t. p.~~



Rys. 117



Rys. 118.

Zapomocą bateryi, złożonej z ogniw takich, jak na rys. 117, lub z ogniw Bunsena, ~~Leclanchégo~~ i t. p., można oczywiście wykonać znacznie łatwiej wszystkie doświadczenia, opisane powyżej, niż zapomocą pierwotnych naszych ogniw, rys. 109 i 110, które bardzo prędko ulegają polaryzacyi.

§ 117. Światło elektryczne.

Poprowadźmy prąd z bateryi przez pasemko węglowe, zamknięte w bańce szklanej (rys. 119). Pasemko rozgrzewa się (por. § 116) i jasno świeci; ponieważ w powietrzu spaliłoby się ono niebawem (t. j. połączyłoby się z tlenem powietrza), przeto zam-

knięto je w bańce szklanej, z której wyciągnięto powietrze.

Takie lampki, zwane *żarowemi*, służą dziś w wielu miastach do oświetlania; w tych miastach rozsyłają prąd elektryczny po drutach, podobnie jak gaz oświetlający lub wodę rozprowadzają rurami. Lampki elektryczne żarowe grzeją bardzo nieznacznie i nie wydzielają tworzących się przy paleniu gazów, jak płomienie naftowe i gazowe; ze względu na zdrowie zasługują więc na pierwszeństwo.



Rys. ~~118~~ 119.

Inne urządzenie mają potężne lampy elektryczne, zwane *łukowemi* (~~[illegible]~~). Przypuśćmy, że bardzo silny prąd elektryczny płynie przez dwa pręciki węglowe, zaostrzone jakby ołówki i zetknięte ze sobą ostrzami. W miejscu zetknięcia powstaje zaraz znaczne ciepło; gdy zaś rozsuniemy węgielki, pojawia się ~~między~~ (niemi) łuk świetlny oślepiającej siły (rys. 120). Przedłużając to doświadczenie, spostrzegamy po niejakim czasie, że węgielek, który ~~[illegible]~~ jest biegunem dodatnim, stracił swój kształt zaostrzony lub nawet wydrążył się. Węgielek ujemny traci znacznie mniej a niekiedy nawet zyskuje. Od dodatniego bieguna odrywają się więc cząstki węgla, które ~~[illegible]~~ spalają się w drodze albo rozpraszają w różne strony.


Rys. 120

Budowa lamp elektrycznych łukowych polega na takiej zasadzie. Na niej również polega urządzenie *pieców* elektrycznych, które wytwarzają najwyższe temperatury, otrzymane dotychczas przez uczonych (od 3000° do 4000°).

§ [illegible]. Opór drutu. 111 118

Przypuśćmy, że przez drut metalowy płynie prąd elektryczny. Drut stawia *pewien opór* prądowi; wiemy istotnie, że drut ogrzewa się wówczas (§ [illegible]); zatem dzieje się tutaj tak, jak gdyby prąd spotykał w drucie *tarcie*, które przezwycięża, przez co powstawałoby ciepło. Wyobraźmy sobie, że przez rurę n. p. PQ (rys. [illegible]) płynie woda, pchając przed sobą tłok T. Tarcie tłoka o ścianki, oraz tarcie wewnątrz samej wody, wytwarzałoby pewien opór dla płynięcia 156 rys 121

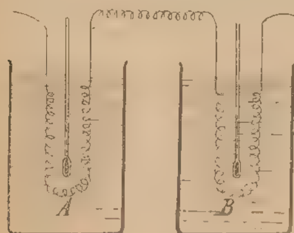
wody; część energii ruchu zamieniałaby się, skutkiem tarcia, na ciepło ~~(zob. § 113.)~~. Wprawdzie ~~(por. § 132.)~~ prąd elektryczny nie jest bynajmniej płynięciem jakiegobądź płynu po drucie, ale, jak ruch wody w rurze PQ jest *źródłem energii*, podobnie prąd elektryczny w drucie jest źródłem energii. Istotnie: wiemy, że *prąd elektryczny ma energię;* dzięki tej energii prąd może nabijać woltametry i akumulatory, żarzyć lampki, topić cienkie platynowe druciki. Kiedy prąd przechodzi przez zwyczajny drut metalowy, energia prądu zawsze wytwarza ciepło; zupełnie podobnie, podczas ruchu wody w rurze PQ, część energii płynięcia zamienia się zawsze na ciepło. Posunięcie tłoka T n. p. o jeden centymetr wymaga przezwyciężenia pewnego tarcia, zatem wytwarza pewną ilość ciepła; jakąkolwiek drogę woda już odbyła w rurze poprzednio, przed dojściem do miejsca T, posunięcie się jeszcze o jeden centymetr wytworzy zawsze nową ilość ciepła. Podobnie co do prądu: jakkolwiek długo już trwa prąd elektryczny w drucie, przejście nowego prądu przez każdy centymetr tego drutu wytworzy zawsze nową ilość ciepła.



Rys. ~~150.~~ 121.

§ 169. Przewodnictwo elektryczne

Mówimy, że rozmaite druty stawiają rozmaity *opór* temu samemu prądowi, zależnie od tego, ile ciepła wytwarza się w nich z energii tego prądu. Pomieśćmy n. p. w obwodzie ogniwa (lub baterya) dwa druty albo dwa zwoje drutu: A i B (rys. ~~151~~ 122.), jeden za drugim, tak żeby tensam prąd przepływał przez obadwa. Zanurzywszy zwoje n. p. do alkoholu i mierząc temperaturę alkoholu możemy sądzić o ilościach ciepła (por. § ~~106~~ 111.), które tensam prąd wytwarza w dwóch drutach. Jeśli oba druty są wyrobione z tego samego metalu (i są jednakowo grube, czyli mają jednakowe poprzeczne przecięcia), w takim razie ilości ciepła wytworzone mają się do siebie jak długości drutów. ~~gdy przecięcia są równe; lub mają się do siebie odwrotnie jak przecięcia, gdy długości są równe~~. (Naprzykład, w drucie dwa razy dłuższym powstaje wówczas dwa razy większa ilość ciepła.) Jeśli długości i przecięcia są jednakowe ale metal drutów nie jest jednakowy, wywiązywane ilości ciepła są wogóle niejednakowe; w drucie srebrnym lub miedzianym wywiązuje się znacznie mniej ciepła niż w platynowym lub ołowianym. Mówimy więc: srebro i miedź odznaczają się stosunkowo małym *oporem* dla prądu czyli mają duże *elektryczne przewodnictwo;* platyna i ołów stawiają prądowi opór stosunkowo znaczny t. j. okazują małe elektryczne przewodnictwo.



Rys. ~~151.~~ 122

§ ~~131~~. Opór powietrza.

I powietrze stawia prądowi elektrycznemu opór, ale odmienny od oporu metali.

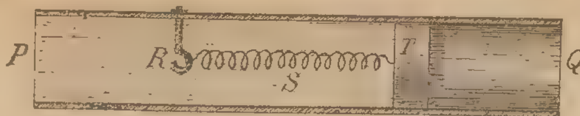
Przypuśćmy, że przecięliśmy drut MN (rys. ~~152.~~) i rozsunęliśmy końce A, B. Wówczas prąd próbuje przejść, jak dawniej, pomiędzy A i B; ale natrafia w powietrzu na opór, który się temu sprzeciwia, który *nie pozwala mu przejść.* Dzieje się tutaj tak, jak gdyby prąd napotykał na przeciwdziałanie pewnej siły, podobnej do *sprężystości*, której nie może przezwy-



Rys. ~~152.~~ 123



ciężyć. Wyobraźmy sobie ~~n. p.~~, że tłok T w rurze PQ jest połączony ze sprężyną S, której drugi koniec jest umocowany w R (rys. ~~153~~ 124.). Wówczas płynięcie wody natrafia na opór, całkiem odmienny niż poprzednio (por. rys. ~~150~~ 121.). Woda popchnie teraz tłok T nieco na prawo, wyciągnie sprężynę, lecz dalej nie ~~pójdzie~~, gdyż trafia na przeciwdziałanie siły sprężystości, tem większe, im większe jest ~~przemieszczenie czyli~~ posunięcie się tłoka T na prawo. Na zupełnie podobny opór natrafia prąd elektryczny w powietrzu. Prąd usiłuje przejść pomiędzy A i B (rys. ~~152~~ 123.), ~~posuwa się nieco~~, ale przejść nie może, bo natrafia na przeciwdziałanie. ~~tem większe, im bardziej się posunął.~~ Wówczas pomiędzy biegunami A, B *niema prądu*, ale jest na nich *dążenie* ~~(parcie)~~ do przejścia. Mówi się wówczas, że na A i na B jest *elektryczne napięcie;* lub też, że A i B są *naelektryzowane*. Jeśli końce drutów A i B są naelektryzowane, wówczas i całe druty MA, NB są naelektryzowane. Mówi się także, że druty wówczas są *naładowane elektrycznością*.



Rys. ~~153~~ 124.

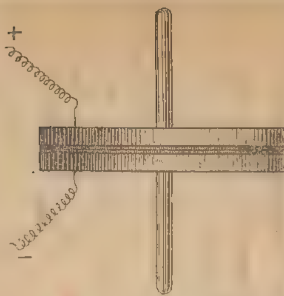
§ 171. Rozbrojenie elektryczne

Że pomiędzy naelektryzowanemi ciałami istnieje *dążenie* elektryczności do przejścia, wiemy ztąd, że dążenie to może przełamać opór powietrza, gdy jest bardzo znaczne. Gdyby nacisk wody na tłok T (rys. ~~153~~ 124.) był bardzo znaczny, gdyby n. p. od strony P ciśnięto ją bardzo silnie na prawo, wówczas mogłoby się zdarzyć, że woda zerwałaby sprężynę S i popchnęłaby odrazu tłok T o pewną odległość; przytem wytworzyłaby się pewna ilość ciepła. Zupełnie podobnie może się zdarzyć, gdy napięcie elektryczne na A i B n. p. jest bardzo znaczne, że siła, sprzeciwiająca się przejściu prądu, zostanie ~~z~~łamana i że wówczas prąd przejdzie. Widzimy wtedy *iskrę elektryczną* w powietrzu. Temsamem napięcie zaraz się zmniejszy, tak iż prąd natychmiast się przerwie. Zjawisko takie nazywa się *elektrycznem rozbrojeniem* ~~(wyładowaniem)~~. *Piorun* nie jest niczem innem, jak potężnem elektrycznem rozbrojeniem pomiędzy chmurami lub pomiędzy chmurą a ziemią. *Błyskawica* jest olbrzymią iskrą, wytworzoną przez to rozbrojenie. Ażeby uchronić budynki od uderzenia piorunu, stawiają na nich *piorunochrony* ~~(gromosody)~~ czyli wysokie zaostrzone metalowe pręty, połączone metalicznie z ziemią; rozbrojenie trafia wówczas nie w budynek, lecz w piorunochron i spływa po nim do ziemi bez szkody dla budynku.

Gdy iskra elektryczna przeskakuje, co właściwie świeci? Świeci w niej powietrze, rozgrzane niezmiernie mocno i nagle działaniem elektryczności, a także cząstki ciał, pomiędzy któremi iskra przeskakuje, od tych ciał oderwane. Rozgrzanie powietrza, niezmiernie mocne i nagłe, sprawia w niem gwałtowne i krótkie rozszerzenie; stąd ów suchy trzask, jaki słyszymy, gdy iskra przeskakuje (por. rozdz. III.).

§ 172. Kondensator.

Zbudujmy ~~następującym~~ przyrząd, wyobrażony na rys. ~~154~~ 125., czyli t. zw. *elektryczny kondensator*. Składa on się z dwóch metalowych płyt, osadzonych na szklanych rękojeściach ~~(trzonkach)~~ a oddzielonych od siebie warstwą izolującą laku lub poprostu lakieru. Połączmy metalicznie jedną tafel-



Rys. 125

kę kondensatora, n. p. górną, z biegunem dodatnim ogniwa lub bateryi, drugą zaś, dolną, z biegunem ujemnym. Wiemy, że na tafelkach gromadzą się wówczas ładunki elektryczne. Ładunki te będą tem większe, im większa jest rozległość pola tafelek i im mniejszy jest odstęp między niemi. Odłączmy kondensator od ogniwa lub bateryi; ładunki elektryczne, nie mogąc połączyć się przez izolującą warstwę ani też odpłynąć przez szkło i powietrze, zostają na taflach i przechowują się na nich bez straty. Zdjąwszy górną tafelkę z dolnej, będziemy mogli badać z osobna każdy ładunek.

§ 173 Elektroskop.

Istnienie choćby nieznacznego ładunku możemy wykazać zapomocą *elektroskopu*, wyobrażonego na rys. 126-ym. Na pręcie metalowym *CD* wiszą dwa cienkie listki złote *AC, BC;* pręt jest izolowany przez banię szklaną *PQ*, która jednocześnie ochrania listki od powiewów powietrza w pokoju. Gdy elektroskop jest w stanie zwykłym, listki *AC, BC* wiszą obok siebie pionowo. Dotknijmy kulką *D* n. p. górnej tafelki kondensatora, który naładowaliśmy zapomocą bateryi lub ogniwa: listki rozchylają się, jak na rysunku. To pokazuje, że dwa ciała, które otrzymały ładunek elektryczny z tegosamego bieguna (tu mianowicie z dodatniego bieguna) *odpychają się* i, jeśli mogą, oddalają się od siebie. Jeślibyśmy dotknęli kulką *D* dolnej tafelki, spostrzeglibyśmy również rozchylanie się listków.

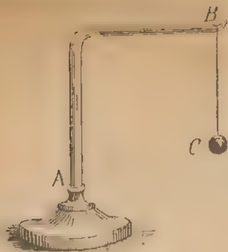


Rys. 126

§ 174 Przyciąganie i odpychanie się elektryczne

Powiadamy, że tafelka kondensatora, która otrzymała ładunek z dodatniego bieguna, elektryzuje się *dodatnio* czyli otrzymuje *dodatni ładunek*; że druga tafelka elektryzuje się ujemnie czyli otrzymuje ładunek ujemny. Są to poprostu nazwy, które przyjmujemy dla krótszego wyrażania się.

Przekonaliśmy się w artykule poprzednim, że *dwa ciała odpychają się, jeśli są naelektryzowane bądź oba dodatnio, bądź oba ujemnie;* t. j. jeśli są naelektryzowane *jednakowo*. Możemy dowieść, że dwa ciała naelektryzowane niejednakowo a zatem *przeciwnie* (t. j. jedno dodatnio, drugie ujemnie) *przyciągają się*. Rys. 127. wyobraża metalową

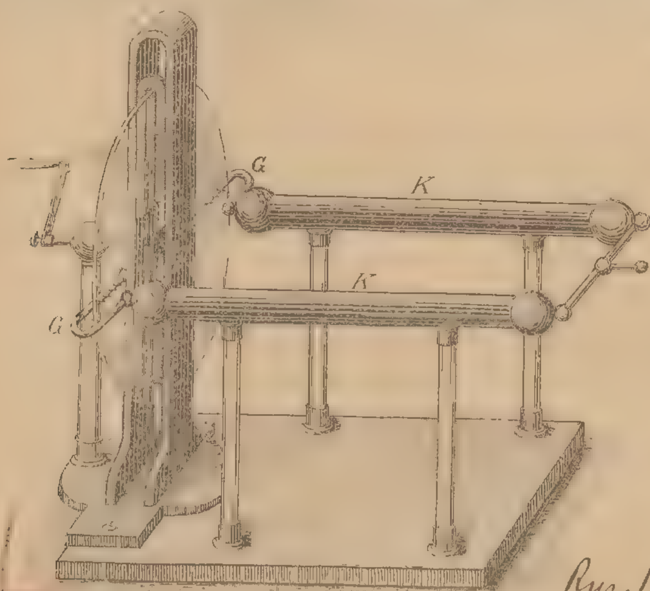


Rys. ~~156~~ 127

kulkę *C*, zawieszoną na izolującej (n. p. szklanej) podstawce *AB*. Naelektryzujmy kulkę *C* ujemnie, dotknąwszy jej dolną tafelką naładowanego kondensatora; zobaczymy, że tafelka górna, naładowana dodatnio, przyciąga wówczas kulkę ku sobie. Taksamo zachowa się kulka, naładowana dodatnio, względem wszelkiego ciała, naelektryzowanego ujemnie.

§ ~~138~~ 111. O różnych sposobach elektryzowania ciał.

Można elektryzować ciała mnóstwem sposobów. Dwa krążki metalowe, jeden cynkowy, drugi miedziany, przyłożone do siebie, po rozłączeniu okazują się naelektryzowane; przytem muszą być trzymane za pomocą rękojeści izolujących, n. p. szklanych, inaczej ładunki spłyną do ziemi przez ręce nasze i ciało. Suchy kawałek szkła, laku lub bursztynu, przyciśnięty do jedwabiu, flaneli lub futra, okazuje się naelektryzowany; jednocześnie jedwab, flanela, futro elektryzują się również. Przytem po szkle, po laku i wszystkich innych wymienionych ciałach, jako po złych przewodnikach, ładunki nie rozchodzą się (jak po metalach rozchodziły się zaraz), lecz tkwią w miejscach, w których powstały. Krótkie lecz silne potarcie suchego szkła lub laku flanelą lub kawałkiem futra wytwarza znaczniejsze naelektryzowanie, niż proste przyłożenie; pocierając jedno ciało o drugie, sprawiamy bowiem, iż wiele ich miejsc zostaje przyłożonych po kolei do siebie. Na tej zasadzie polega urządzenie t. zw. *maszyn elektrycznych*, w których (rys. ~~157.~~ 128.)



Rys. 128.

tafla szklana, pocierana przez skórzane poduszki, pomiędzy któremi się kręci, dostarcza »grzebieniom« *GG* i przez nie »konduktorom« *KK* coraz nowych ładunków elektrycznych. Zapomocą takiej maszyny można wytworzyć prąd elektryczny, zupełnie podobnie jak zapomocą ogniwa lub bateryi; prąd taki elektrolizuje n. p. roztwór jodku potasu (~~§ 109.~~), tylko znacznie powolniej, niż czyni to prąd, pochodzący z ogniwa.

Elektryzowanie się bursztynu za potarciem było znane w starożytności: od wyrazu też greckiego »elektron« (który oznacza bursztyn) pochodzi nazwa *elektryczności*. Jednakże dopiero od

końca XVIII stulecia rozpoczął się szybki rozwój nauki o elektryczności, nauki, która dzisiaj stanowi jedną z najpiękniejszych i najbogatszych dziedzin Fizyki i jest źródłem mnóstwa ważnych zastosowań w życiu narodów ucywilizowanych.

§ 111. Elektromagnes.

Cienki drut miedziany okręćmy starannie jedwabiem (lub bawełną, napojoną następnie woskiem stopionym); taki drut nazywa się *izolowanym*. Weźmy sztabę z miękkiego żelaza *NS* (rys ~~158~~ 129) i okręćmy ją drutem izolowanym; następnie przepuśćmy prąd przez drut izolowany. Prąd nie przechodzi przez jedwab ani przez woskowaną bawełnę a zatem musi okrążyć sztabę tyle razy *dokoła*, ile jest skrętów; przez samą sztabę zaś wcale płynąć nie będzie. Zobaczymy, że sztaba nabiera wówczas nowych własności, tak zwanych *magnetycznych*: przyciąga n. p. gwoździki lub opiłki żelazne. Podnieśmy sztabę do góry: opiłki trzymają się jej z obu końców jak gdyby przyklejone; przerwijmy prąd a opadną natychmiast. Podobny przyrząd nazywamy *elektromagnesem*. Powiadamy, że elektromagnes ma własności magnetyczne, dopóki prąd elektryczny krąży koło sztaby; przerywając prąd, odbieramy mu te własności; zamykając prąd, przywracamy je napowrót.

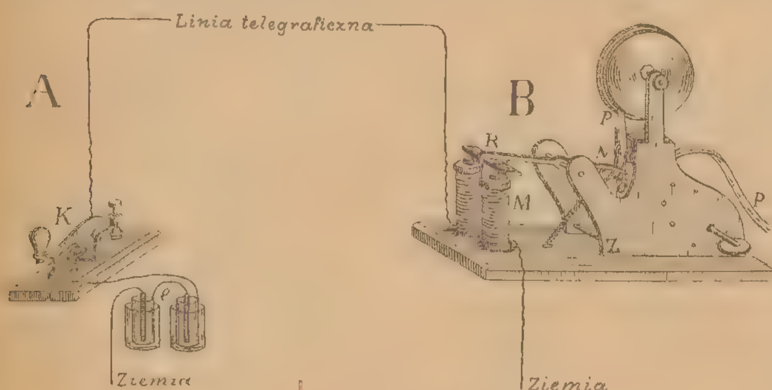


Rys. ~~158~~ 129.

Ażeby sztaba żelazna pod wpływem prądu stawała się ~~możliwie~~ silnym magnesem, trzeba, żeby ją prąd okrążał ~~możliwie~~ znaczną liczbę razy; dlatego ~~też~~, budując elektromagnesy, nakładają zwoje drutu gęsto jeden przy drugim. Sztaba prosta, jak na rys. 129., przybrawszy własności magnetyczne, przyciąga przeważnie na swych końcach czyli t. zw. *biegunach*; ku środkowi przyciąganie jest słabsze. Ażeby obadwa bieguny mogły wspólnie przyciągać, budują elektromagnesy w kształcie litery *U* lub podkowy.

§ 112. Telegraf elektryczny.

Wyobraźmy sobie dwa miasta *A*, *B*, odległe od siebie n. p. o 100 kilometrów. Przypuśćmy, że w pierwszem mieście *A* (rys. 130.) znajduje się baterya elektryczna *e* i »klucz« *K*, którym można prze-



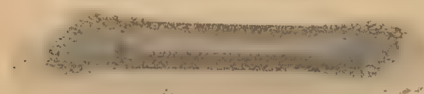
Rys. ~~159~~ 130.

rywać prąd w obwodzie bateryi lub też zamykać go napowrót. W drugiem mieście *B* niechaj znajduje się przyrząd, złożony z elektromagnesu *M* (rys. 130.) i z kotwicy *R*, osadzonej na dźwigni *NR*, na której drugim końcu znajduje się ołówek *o*. Jeśli elektromagnes zostanie wzbudzony działaniem prądu, kotwica *R* opuści się, koniec *N* podniesie się, ołówek *o* uderzy o pasek papieru *PP*, który się przed nim przesuwa pod działaniem mechanizmu zegaro-

wego w Z. Ziemia, ogniwa bateryi, klucz, linia telegraficzna, elektromagnes i znów ziemia stanowią razem całkowity obwód; jedyną przerwą w tym obwodzie jest klucz K. Naciskając klucz K w mieście A, sprawiamy, iż ołówek o w mieście B przyciska się do papieru PP i pisze po nim kreski lub kropki, stosownie do długości czasu, przez który klucz był zamknięty. Z kresek takich i kropek, według ustalonej umowy, odczytuje się litery, wyrazy i zdania. Na tej zasadzie polega urządzenie *telegrafów elektrycznych*; na podobnej opiera się budowa dzwonków i zegarów elektrycznych.

§ 178. O magnesach.

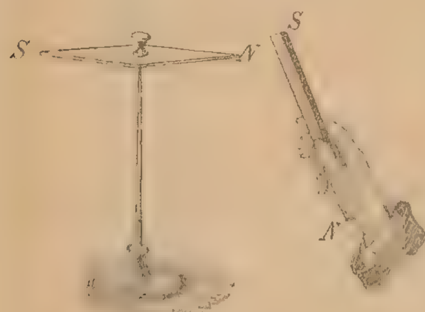
Do doświadczenia, przedstawionego na rys. ~~158~~ 129., użyjmy sztaby *stalowej*; przekonamy się, że sztaba przyciąga opiłki żelazne, podobnie jak sztaba z miękkiego żelaza. ~~przekonamy się nadto, że~~ Jednakże sztaba stalowa przyciąga nie tylko dopóty, dopóki dokoła niej krąży prąd, lecz również i później, gdy prąd już został przerwany. Sztaba stalowa pod wpływem prądu staje się *magnesem* t. j. nabywa własności magnetycznych nie tylko chwilowo (jak miękkie żelazo), lecz *trwale*. Rysunek ~~160~~ 131. okazuje taki magnes z przylegającemi do niego opiłkami.



Rys. ~~160~~ 131.

§ 179. Przyciąganie i odpychanie się magnetyczne

Weźmy lekką stalową igiełkę, namagnesujmy ją prądem w sposób, jaki przedstawia rys. 129. i napiszmy na lewym biegunie igiełki literę N, na prawym S. Namagnesujmy podobnie sztabę stalową, łącząc końce drutu (rys. 129.) z tymisamymi biegunami bateryi jak przed chwilą i znów napiszmy: na lewym biegunie sztaby N, na prawym S. Osadźmy teraz igiełkę stalową poziomo na ostrzu (rys. 132.), tak, iżby mogła kręcić się swobodnie we wszystkie strony. Zbliżając sztabę do igiełki, jak na rys. 132., przekonamy się, że biegun N sztaby odpycha biegun N igiełki i przyciąga jej biegun S; ~~odwrotnie~~ biegun S sztaby przyciąga N igiełki i odpycha jej S. Jednem słowem *jednakowe bieguny* (N, N albo S, S) odpychają się a *przeciwne* (N i S) przyciągają się. Widzieliśmy podobnie w § 174., że ciała naelektryzowane jednakowo odpychają się, a naelektryzowane przeciwnie przyciągają się. W tym względzie przeto zachowywanie się ciał magnetycznych i naelektryzowanych jest zupełnie podobne.



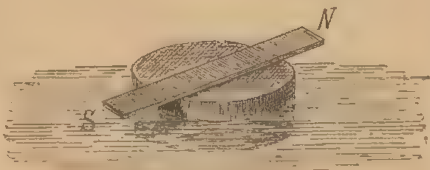
Rys. ~~161~~ 132.

§ ~~145~~. Magnetyzm ziemski.

Usuńmy zupełnie sztabę w doświadczeniu poprzedniem (rys. ~~161~~ 132.); igiełka NS wykręci się na ostrzu i ustawi się w pewnym określonym

kierunku; jeśli odchylimy ją lekko, powróci do tego położenia. *Koniec N igły wskazuje mniej więcej północ* (w naszych okolicach ustanawia się nieco na zachód od północy); *koniec S wskazuje mniej więcej południe.* Takie igiełki w przyrządach, zwanych *busolami* lub kompasami (~~morskie~~), służą marynarzom i podróżnikom do odnajdywania kierunków północy i południa. A zatem kula ziemska zachowuje się, jak gdyby była magnesem i jak gdyby miała dwa bieguny, położone mniej więcej w jej istotnych, geograficznych biegunach.

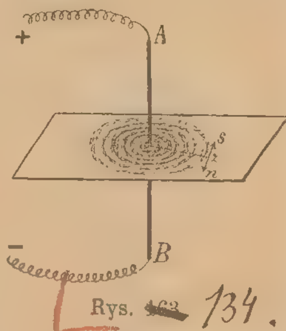
Połóżmy magnes NS na dużym płaskim korku a korek umieśćmy na wodzie (rys. 133). Magnes wykręci się i ustawi się tak jak igła magnesowa, ale nie popłynie cały ani na północ, ani na południe. Dlaczego dzieje się tak? Biegun ~~bowiem~~ n. p. północny ziemi przyciąga koniec N magnesu, ale równie mocno odpycha jego koniec S; dlatego *ziemia wykręca magnes*, ale *nie pociąga* całego magnesu ani w jednym ani w przeciwnym kierunku.



Rys. ~~102.~~ 133.

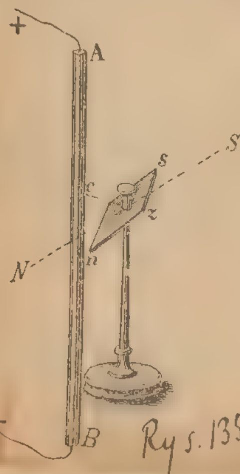
§ 181. Działanie prądu na magnes.

Widzieliśmy w §§ 176. i 178., że prąd elektryczny, płynąc po drucie, wytwarza w pobliżu siłę magnetyczną: w stali trwałą, w miękkiem żelazie tylko przejściową. Zbadajmy dokładniej tę siłę magnetyczną. ~~czynną w pobliżu prądu.~~ Poprowadźmy prąd elektryczny przez pręcik metalowy AB (rys. 134), na którym umocowaliśmy poprzecznie kartę tektury. Jeśli posypiemy kartę opiłkami żelaznemi, zobaczymy (za lekkiem wstrząśnieniem), że opiłki układają się w kształcie kół, których środkiem jest miejsce przecięcia się drutu z kartą (czyli c na rysunku). Prąd magnetyzuje widocznie każdy kawałek żelaza i skoro tylko może *wykręca* go; kawałek żelaza z n. p. ustawia się w kierunku sn, stycznym do koła o promieniu cz, czyli prostopadłym do tego promienia cz.

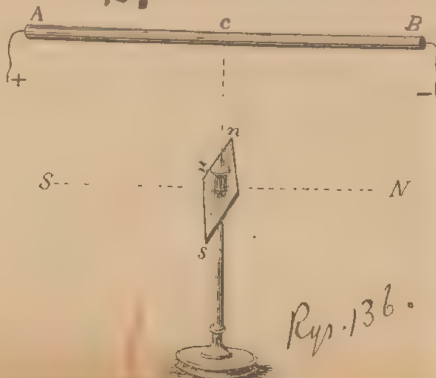


Rys. ~~163.~~ 134.

Zupełnie podobnie działa prąd na gotowy już magnes, który znajduje się w jego pobliżu. Weźmy n. p. igiełkę magnesową z doświadczenia, wyobrażonego na rys. 132. Ustawia się ona sama przez się, pod wpływem ziemi, w kierunku mniej więcej z północy na południe (NS, rys. 135.). Jeśli teraz zbliżymy przewodnik AB, po którym płynie prąd, igiełka ustawi się w kierunku ns (rys. 135.), ~~t. j.~~ prostopadle do linii cz ~~i do kierunku AB~~, zupełnie podobnie jak kawałek żelaza z w doświadczeniu poprzedniem (rys. 134). Wpływ prądu jest sil-



Rys. 135



Rys. 136.

niejszy niż wpływ ziemi,

dlatego igiełka przyjmuje natychmiast położenie *ns* (Rys. 135.), chociaż to położenie nie zgadza się z kierunkiem *NS*, do którego usiłowałaby doprowadzić ją ziemia. Jeśli umieścimy poziomo drut *AB*, przez który prąd płynie (rys. 136.), igła magnesowa, znajdująca się powyżej drutu, ustawia się w położeniu *ns*, poprzecznie do kierunku *AB*. ~~jakkolwiek~~ To położenie nie zgadza się z kierunkiem *NS*, do którego ziemia usiłuje doprowadzić igiełkę; wnosimy więc, że i tu wpływ prądu jest silniejszy niż wpływ ziemi.

ill 136

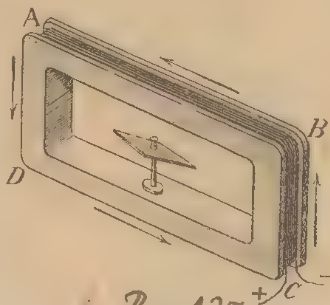
Przenieśmy teraz drut <u>AB</u> pod igłę <u>sn</u> i powtórzmy to samo doświadczenie. Igła <u>sn</u> (i ustawi poprzecznie do kierunku AB ale położenie jej będzie) znów się wykręci) ale (wprost przeciwnie niż przódy; biegun <u>n</u> zwróci się teraz w stronę, którą poprzednio wskazywał biegun <u>s</u>; biegun <u>s</u> w stronę, w którą dawniej kierował się <u>n</u>.

Nareszcie, jeżeli przeniesiemy drut <u>AB</u> pod igłę <u>sn</u>, ale jednocześnie zmienimy kierunek prądu na przeciwny, zobaczymy, że wychylenie igły pozostanie takie, jak w pierwszem doświadczeniu, w którem drut <u>AB</u> był umieszczony nad igłą <u>sn</u>.

§ 182 Galwanometry i galwanoskopy.

Na działaniu prądu na igłę magnesową zasadza się budowa ***galwanometrów***, przyrządów, służących do mierzenia siły prądu, oraz ***galwanoskopów***, których zadaniem jest wykrywać obecność najsłabszych nawet prądów w danym obwodzie. Prosty galwanoskop widzimy na rys. 137. Na ramce drewnianej nawijamy wiele zwojów drutu doskonale izolowanego; wewnątrz ramki znajduje się igła magnesowa.

ill 137



Rys. 137.

Pamiętajmy, że prąd płynie w kierunku wprost przeciwnym po częściach <u>BA</u> niż po częściach <u>DC</u>. Przypomniawszy sobie zatem doświadczenie opisane w końcu poprzedzającego § 181-go, widzimy odrazu, że działanie części <u>BA</u> i <u>DC</u> na igiełkę jest <u>zgodne</u>. Tak samo działanie części <u>CB</u> jest zgodne z działaniem części <u>AD</u>. Ostatecznie, skoro tylko przez zwoje drutu galwanoskopu przejdzie prąd, choćby słaby, igiełka wykręci się natychmiast, zdradzając tym sposobem obecność prądu.

§ ~~114~~. Zjawisko indukcyi.

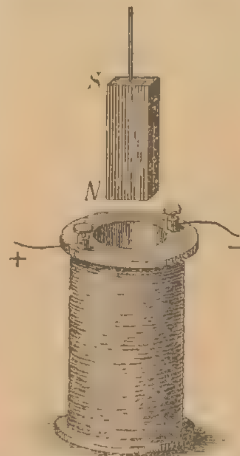
Powiedzieliśmy, że prąd w swem pobliżu wytwarza siłę magnetyczną; istotnie wytwarza ją nietylko wtedy, kiedy w sąsiedztwie znajduje się żelazo lub stal, lecz wytwarza ją zawsze, choćby n. p. w powietrzu, które go otacza; tylko w powietrzu siła magnetyczna nie sprawia skutków tak wyraźnych jak w żelazie, ani tak trwałych jak w stali. Zbudujmy cewkę z drutu izolowanego, ~~przez który przepływa~~ prąd (rys. 138.). Cewka zachowuje się wówczas jak magnes: ma dwa bieguny, którymi odpycha lub przyciąga bieguny zwykłego magnesu. Jeśli odwrócimy kierunek prądu, biegun *N* cewki staje się biegunem *S*, biegun zaś *S* ~~dawny~~ staje się nowym biegunem *N*.

98

i przepuśćmy prąd przez tę cewkę.

dawny

Wykonajmy teraz doświadczenie następujące. Z obwodu cewki usuńmy baterję, natomiast wprowadźmy w ten obwód czuły *galwanoskop*. Następnie, nagłym ruchem, opuśćmy magnes *NS* do wewnętrznego wydrążenia cewki (rys. 138.). Zobaczymy, że w chwili zbliżania magnesu w cewce budzi się prąd, który wszakże znika, skoro tylko ruch magnesu ustaje. Gdy magnes, znajdując się w cewce, jest w spoczynku, prądu niema; jeśli nagle ~~magnes~~ wyjmiemy, spostrzeżemy na galwanoskopie znowu chwilowe pojawienie się prądu, skierowanego przeciwnie niż pierwszy.



Rys. 138.

magnes.

Prąd, tworzący się w opisany sposób, nazywa się *indukowanym*; samo zjawisko nazywa się *indukcyą*. ~~(indukcja)~~

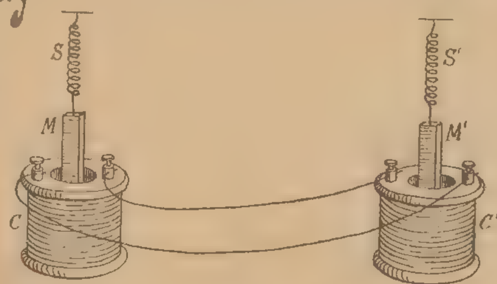
Budowa t. zw. *maszyn dynamo-elektrycznych* polega na podobnej zasadzie. Przyrząd, odpowiadający cewce w doświadczeniu powyższem, porusza się w sąsiedztwie biegunów elektromagnesu; w ten sposób tworzą się potężne prądy, którymi posługuje się ~~coraz bardziej rosnący~~ przemysł elektryczny. Do poruszania takich »dynamomaszyn« potrzeba ogromnych ilości pracy, których dostarczają motory parowe, wodne i t. p.

§ ~~115~~. Telefon.

H 184

Ш 139

Wykonajmy jeszcze raz doświadczenie, opisane w artykule poprzednim, ale w sposób nieco odmienny. Po nad cewką *C* (rys. 139.) umieśćmy magnes *M*, zawieszony na sprężynie *S*. ~~Przypuśćmy, że~~ Pociągnijmy ~~pociągnęliśmy~~ magnes *M* mocno ku dołowi i puśćmy go następnie. Magnes będzie odbywał szybkie wahania do góry i na dół. Poruszając się na dół, będzie on wzbudzał w cewce *C* prąd indukcyjny o pewnym kierunku; poruszając



Rys. ~~169~~. 139.

się do góry, będzie wywoływał prąd indukcyjny o wprost przeciwnym kierunku. Końce izolowanego drutu, nawiniętego na cewce *C*, połączmy, jak pokazuje rysunek, z końcami drutu, nawiniętego na dru-

giej cewce podobnej C'. Po nad tą drugą cewką C' zawieśmy drugi magnes M', na sprężynie S'. Prądy indukcyjne, wzbudzane w C przez drganie M, płyną przez cewkę C'; ale ponieważ płyną naprzemian to w jednym, to w drugim wprost przeciwnym kierunku, więc łatwo zrozumieć, że będą naprzemian to przyciągały, to odpychały magnes M'. Drgania magnesu M będą zatem wywoływały zupełnie podobne drgania magnesu M'. Jeśli uczynimy druty, łączące cewki ze sobą, dostatecznie długiemi, tedy przyrządy CM i $C'M'$ mogą być bardzo odległe od siebie; zawsze, pomimo to ruch drgający jednego magnesu sprawi na drugiej stacyi, podobne drgania drugiego magnesu.

Na takiej właśnie zasadzie polega budowa *telefonów*. Wyobraźmy sobie w miejscowości A, zamiast ciężkiego magnesu M z poprzedniego rysunku, cienką i sprężystą blaszkę żelazną M (rys. 140.), umieszczoną tuż obok silnego magnesu NS, przez co i sama blaszka M jest magnetyczna. Na magnesie NS, tuż pod blaszką M, osadzona jest cewka C. W miejscowości B, dowolnie odległej, znajduje się przyrząd zupełnie podobny, złożony z blaszki M', z magnesu $N'S'$ i z cewki C'. Cewki C i C' są połączone drutami, podobnie jak w doświadczeniu, opisanem przed chwilą. Dla jasności rysunku, opuszczono w nim drewniane lub kauczukowe oprawy, w których blaszka, magnes i cewka są umocowane. Takie właśnie przyrządy nazywają się *telefonami*. Przypuśćmy, że ktoś, na stacyi A, mówi w telefon A, trzymając blaszkę jego M niezbyt daleko od ust. Wiemy, że mowa ludzka rozchodzi się w powietrzu szeregiem fal głosowych, które, uderzając o blaszkę M, wprawiają ją w drganie. Drganie blaszki M, opisanym już sposobem mianowicie za pośrednictwem prądów indukcyjnych, jakie wytwarza w C i posyła do C' pobudza blaszkę M' telefonu B do drgań zupełnie podobnych. A zatem, kto przyłoży ucho do wylotu telefonu B, usłyszy wyraźnie dźwięki i wyrazy, wymawiane przed telefonem A. Tym sposobem mogą rozmawiać osoby, oddalone o setki kilometrów od siebie.

Rys. 140.

§ 146. O induktorach. Dalsze doświadczenia nad indukcyą.

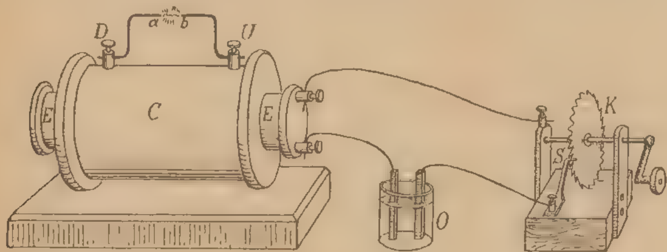
Doświadczenia, tyczące się indukcyi, możemy wykonywać jeszcze w sposób odmienny. Posługiwaliśmy się dotychczas zwykłym magnesem (NS n. p. na rysunku 138.), który wsuwaliśmy do cewki lub wysuwaliśmy z niej. Zamiast takim trwałym magnesem, spróbujmy działać (rys. 141.) elektromagnesem E, któremu nadajemy własności magnetyczne zapomocą prądu z ogniwa O (lub z bateryi, złożonej z takich ogniw). Zamiast wsuwania się magnesu do cewki i usuwania go z niej, spróbujmy zostawiać elektromagnes E raz na zawsze wewnątrz cewki, natomiast naprzemian zamykać i otwierać obwód ogniwa O, t. j. wpuszczać prąd do elektromagnesu i przerywać go. Każde zamknięcie prądu działa jak nagłe wsunięcie zwykłego magnesu t. j. wytwarza w cewce (i w jej obwodzie) oczywiście przemijający, krótkotrwały prąd indukcyjny (chwilowy prąd indukcyjny). Każde otwarcie prądu działa jak nagłe wysunięcie t. j. wytwarza prąd indukcyjny, równie krótkotrwały, lecz skierowany wprost przeciwnie.

Rys. 141.

§ 186. O induktorach.

101

Induktorem nazywamy taką ~~właśnie~~ cewkę, [jak opisana,] zawierającą wewnątrz elektromagnes i zaopatrzoną w ~~jakikolwiek~~ pomocniczy przyrząd, [który] ~~wciąż~~ przerywający i zamykający prąd w tym elektromagnesie. Na rys. 142 *C* wyobraża cewkę indukcyjną, *E* wewnętrzny elek-



Rys. ~~172.~~ 142.

tromagnes, *O* ogniwo lub baterye, zaś *SK* przerywacz; *D* i *U* oznaczają końce drutu, nawiniętego na cewce *C* induktora, *d* i *u* ~~zaś~~ końce drutu elektromagnesu. [Koło K i sprężyna S są wyrobione z metalu.] Obracając szybko koło zębate *K* ~~(wyrobione z metalu)~~, sprawiamy, że ~~(również metalowa)~~ sprężyna *S* naprzemian ~~to~~ przyciska się do zębów, to znów z nich zeskakuje. Ponieważ, jak widzimy na rysunku, sprężyna *S* i koło *K* są włączone w obwód elektromagnesu, przeto szybki obrót koła *K* sprawia nieustanne przerywanie i zamykanie prądu, wzbudzającego ten elektromagnes.

Przy pomocy ogniwa lub bateryi i induktora możemy wykonać wiele pouczających doświadczeń. Wprowadziwszy w ruch przerywacz prądu, połóżmy ręce na śrubkach *D* i *U* (rys. 142.), ~~które możemy nazywać~~ czyli na »biegunach« cewki indukcyjnej. Każde zamknięcie i przerwanie prądu w elektromagnesie odczujemy, jako silne wstrząśnienie w rękach i ramionach; wywołują je prądy indukcyjne, wytwarzane w cewce indukcyjnej.

§ 187. Niektóre własności prądów indukcyjnych

Induktory buduje się zazwyczaj w następujący sposób. Na elektromagnesie nawija się drut ~~niezbyt długi i~~ gruby (t. j. o znacznym poprzecznym przekroju) i niezbyt długi, głównie w tym celu, ażeby prąd bateryi nie spotykał w nim znacznego oporu ([redacted]). Na cewce indukcyjnej, przeciwnie, nawija się drut bardzo cienki i nadzwyczaj długi; bywają induktory, na których cewce znajduje się kilkanaście lub kilkadziesiąt kilometrów drutu. Czyni się to w tym celu, ażeby zwiększyć, o ile podobna, *napięcie* prądów indukcyjnych, powstających w cewce. Induktor tak zbudowany dostarcza prądów o napięciu tak wysokiem, że mogą one utorować sobie drogę nawet przez powietrze t. j. utworzyć w niem iskrę ([redacted]). Umocowawszy zatem w śrubkach *D* i *U* dwa druty, których końce *a*, *b* zbliżamy do siebie, spostrzegamy w przerwie *ab* między niemi (rys. 142.) bicie iskier, jednej za drugą.

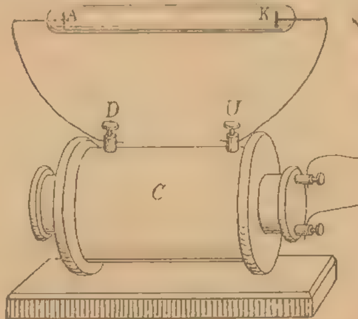
Prądy indukcyjne mogłyby przechodzić między zakończeniami *a*, *b* nawet i przy znacznie większem ich rozsunięciu, gdyby powietrze w odstępie *ab* było *rozrzedzone*. ~~(§ 74.)~~ Możemy przekonać się o tem zapomocą rurki zamkniętej czyli bańki szklanej *AK* (rys. 143.), w której, przed jej zamknięciem czyli zalutowaniem, rozrzedzono powietrze zapomocą pompy rtęciowej lub pneumatycznej. ~~(§ 67.)~~ W ścianę tej rurki wtopione są dwa

~~Rysunek 143 już tu!~~

druciki, dźwigające niewielkie płytki metalowe A, K; druciki te łączymy z biegunami cewki indukcyjnej D, U. Prądy indukcyjne przechodzą przez powietrze rozrzedzone; nie dają jednak wówczas iskier, lecz tworzą raczej piękne pasmo świetliste, jakgdyby łunę świecącą, rozlaną w całej prawie rurce AK.

§ 188 – O promieniach katodowych

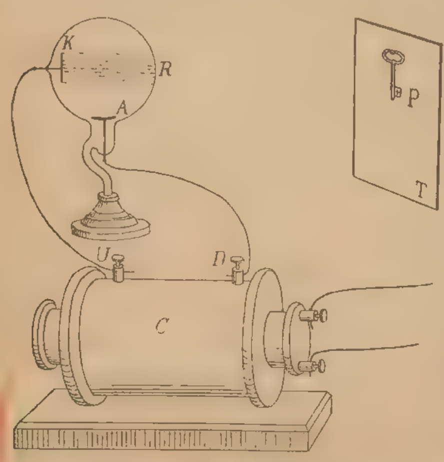
Spróbujmy, powtarzając to doświadczenie, posuwać coraz dalej i dalej stopień rozrzedzenia powietrza w rurce AK (rys. 143.). Gdy osiągniemy rozrzedzenie [redacted], jakie dają najlepsze pompy rtęciowe, wówczas zjawisko elektryczne przedstawia się odmiennie. Łuna ciągła znika prawie zupełnie; natomiast z jednej płytki (mianowicie z płytki K na naszym rysunku) tryska snop promieni zaledwie widzialnych, które biegną przez rurkę w kształcie linii prostych i kończą się na przeciwległej jej ścianie. Płytka K w rurce AK z rys. 143. nazywa się *katodą* (przeciwległa A nazywa się *anodą*); stąd nazwa *promieni katodowych*, którą noszą rzeczone promienie. Same przez się świecą [redacted] nadzwyczajnie słabo; natomiast szkło rurki świeci jasnem światłem, barwy zielonkawej, w tem miejscu, gdzie trafiają je promienie katodowe.



Rys. ~~172.~~ 143.

§ [illegible]. O promieniach Röntgena.

Uczony niemiecki Röntgen odkrył przed niedawnym czasem, że ze ścian rurki, świecących pod wpływem promieni katodowych, rozchodzi się dokoła, a więc i nazewnątrz rurki, szczególnego rodzaju promieniowanie; [redacted] niedostrzegalne dla wzroku [redacted], które możemy poznawać po osobliwych skutkach, ~~jakie jest zdolne wytwarzać~~. Przedewszystkiem, owe *promienie Röntgena* działają na płytki fotograficzne, podobnie jak światło zwyczajne, widzialne. Powtóre, w pewnych ciałach, zwanych *fluoryzującemi*, promienie Röntgena wywołują jasne świecenie, skoro tylko na nie padną. Kartka papieru, posypana n. p. platynocyankiem barowym, świeci jasno tam, gdzie ją trafiają promienie Röntgena, podobnie jak szkło pod działaniem promieni katodowych. Potrzecie, promienie Röntgena przechodzą swobodnie, po liniach prostych, przez wiele ciał, nieprzezroczystych dla światła [redacted]: n. p. przez papier, drzewo, przez miękkie części ciała ludzi i zwierząt i t. p. Inne ciała, jak ołów, żelazo, kamienie wapienne, kości, nie przepuszczają promieni tych wcale lub tylko w stopniu [redacted] nieznacznym. To tłómaczy zasadę doświadczenia następującego. Przed kartą T tekturową, powleczoną (po przeciwnej stronie) preparatem fluoryzującym, umieszczamy jakibądź przedmiot żelazny lub ołowiany ~~i t. p.~~ P (rys. 144.) i rzucamy na przedmiot i kartę promienie



~~Rys. 171.~~ Röntgena (z R na rysunku). Wówczas na karcie T rysuje się ciemno cień przedmiotu P. Jeżeli w miejscu P umieścimy rękę, promienie przenikną przez miękkie części dłoni ale nie przenikną przez kości, tak iż na karcie T ukaże się ~~tylko~~ ~~kostny~~ szkieletu umieszczonej przed nią ręki.

102

Rozdział szósty

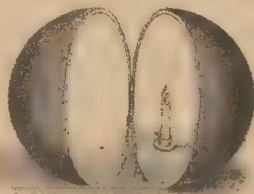
O promieniowaniu

§ 190. Światło.

W zupełnej ciemności nic nie widzimy; widzimy tylko wtedy, kiedy jest *jasno*. Gdy słońce wschodzi na niebie, ciemność nocy przerzedza się i robi się jasno; powiadamy więc, że słońce *wydaje* lub *wysyła światło*, dzięki któremu widzimy. Podobnie, podczas burzy w nocy, błyskawice rzucają nagłe i krótkotrwałe światło na cały widnokrąg. Płomień świecy lub lampy rozprasza ciemność w pokoju, więc wydaje światło, jak błyskawica lub słońce, tylko światło słabsze.

§ 191. Co rozumiemy przez „oświetlenie".

Weźmy dwa pudełka kuliste, nierównej wielkości, wyklejone wewnątrz białym papierem; *jedno* takie pudełko jest wyobrażone na rys. 175. Umieśćmy zapaloną świecę najprzód w środku jednego, potem w środku drugiego pudełka. Zauważymy ~~(zwłaszcza~~ (gdy rozmiary kul różnią się znacznie), że wnętrze dużej kuli jest oświetlone *słabiej* niż wnętrze małej kuli; tosamo światło, padając na rozleglejszą powierzchnię, daje oświetlenie słabsze każdej jednostce jej pola. Rozumiemy teraz, dlaczego, spoglądając przy świetle świecy na ćwiartkę papieru, widzimy ją oświetloną tem słabiej, im dalej ona znajduje się od płomienia. Albowiem możemy ~~zawsze~~ wyobrazić sobie, że ta ćwiartka papieru to jak gdyby część kulistej powierzchni, zbudowanej w myśli dokoła płomienia. Jeśli odległość od płomienia jest niewielka, to i ta kulista powierzchnia byłaby niewielka; jeśli odległość jest znaczna, wówczas rozległość powierzchni byłaby znaczna, więc światło dawałoby oświetlenie słabe każdej jednostce jej pola. Zupełnie podobnie świeca, umieszczona wewnątrz skrzyni, oświetla mocno ściany tej skrzyni; ustawiona zaś na środku dużej sali, oświetla jej ściany bardzo słabo.



Rys. ~~175~~ 145.

§ 192. Słońce i gwiazdy stałe.

Słońce jest takąsamą gwiazdą, jak inne gwiazdy t. zw. *stałe* ~~(звѣзды неподвижныя)~~, których tyle widzimy na niebie; a jednak ukazuje się nam tak zgoła inaczej. Słońce nie tylko jest samo widzialne, lecz i rozświeca wszystko dokoła; tymczasem gwiazdy nie oświetlają ziemi (lub raczej oświetlają ją bardzo słabo). Otóż ta różnica tłómaczy się ~~łatwo~~ niezmiernem oddaleniem gwiazd. *Najbliższa* z pomiędzy gwiazd stałych (*planety*, jak Wenus, Mars, Jowisz,



Rys. 146.

trzeba odróżniać od gwiazd stałych) znajduje się 260000 razy dalej od nas niż słońce. Wyobraźmy sobie, że ziemia nasza Z (rys. 176.), zamiast krążyć w swej obecnej odległości od słońca S, odsuwa się od niego 260000 razy dalej, n. p. aż do C na rys. 176., na którym należy wyobrazić sobie punkt C oddalonym 260000 razy dalej od S niż punkt Z. Ziemia Z, w teraźniejszej odległości od słońca, SZ, zajmuje pewien ułamek kulistej powierzchni SZ (zatoczonej dokoła słońca promieniem SZ) i otrzymuje odpowiedni ułamek całego światła, wysyłanego przez słońce we wszystkie strony. Jeśli odległość SC jest znacznie większa niż SZ, powierzchnia kulista o promieniu SC jest nieporównanie bardziej rozległa niż powierzchnia kulista o promieniu SZ; zatem ta sama ziemia, przeniesiona do C, wykrawałaby bez porównania ***mniejszy ułamek*** powierzchni SC, więc otrzymywałaby bezporównania ***mniejszy ułamek*** całego światła, wysyłanego przez słońce, niż ten, jaki dziś otrzymuje.

W takiem właśnie położeniu znajdujemy się względem gwiazd t. zw. stałych. Otrzymujemy niezmiernie drobne ułamki całkowitego światła, jakie one wysyłają; dlatego gwiazdy wydają nam się na niebie li tylko świecącymi *punktami*. W istocie są to słońca olbrzymie, często większe i potężniejsze od *naszego słońca* ~~(t. j. od gwiazdy, od której znajdujemy się stosunkowo tak blisko)~~; wszechświat zaś zawiera miliony i miliony takich słońc, które żarzą się w niezmiernych odległościach od siebie.

§ 193. ~~§ 151.~~ Światło rozchodzi się po liniach prostych.

Przypuśćmy, że widzimy w ciemności światło n. p. latarki i że chcemy jaknajprędzej dojść do niej; skierujemy się wówczas wprost w tym kierunku, w którym widzimy światło, nie pójdziemy ani na prawo, ani na lewo. Wiemy z doświadczenia, że światło rozchodzi się *w prostych kierunkach*, że biegnie po liniach prostych.

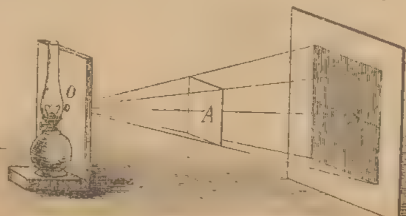


Rys. 177.

Zasłońmy szczelnie okna w pokoju (rys. 177.) n. p. zapomocą okiennicy i wpuśćmy światło słoneczne przez mały, okrągły otwór O tej okiennicy. Widzimy jasną plamę P (czyli obraz) naprzeciwko, na ścianie lub na podstawionej tablicy T. Poprowadźmy nić lub cieniutki sznurek od otworu w zasłonie do obrazu na tablicy. Nić cała zajaśnieje, gdy wyprężymy ją mocno i będzie błyszczała od światła; światło biegnie w prostym kierunku, dlatego kierunek snopu światła zgadza się tutaj z kierunkiem nici na jej całkowitej długości.

§ 194. Cienie. Prawo słabnięcia oświetlenia.

Ciała metalowe, drewniane i t. p., gdy są dość grube, nie przepuszczają światła, są *nieprzezroczyste* ~~([illegible])~~. Takie ciała muszą przeto *rzucać cienie* ~~([illegible])~~ skoro światło rozchodzi się po liniach prostych. Nieprzezroczysty kwadracik A (rys. 178.), oświetlony płomieniem przez O, rzuca kwadratowy cień S na tablicę. Jeśli odległość OS jest dwa razy większa od odległości OA, wówczas pole S jest cztery razy większe od pola A; arkusik papieru, wycięty wzdłuż



Hetlenie

H oświetlenia

H oświetlenia

granic S i złożony następnie we czworo, dokładnie przykrywa A. Usuńmy A; S otrzymuje wówczas oświetl., jakie otrzymywał A. Widzimy przeto, że na każdy z kwadracików, z których składa się S, przypada tylko czwarta część ~~światła~~, jakieby on otrzymywał, gdyby był umieszczony w odległości OA. Ćwiartka papieru w odległości n. p. 2 metrów od płomienia otrzymuje więc czwartą część ~~światła~~, jakie otrzymałaby od niego w odległości jednego metra; w odległości trzech metrów, ~~czterech metrów i t. d.~~ otrzymałaby dziewiątą część, ~~szesnastą część~~ i t. d.

§ 195 ~~§ 157.~~ Prędkość rozchodzenia się światła.

Z jaką prędkością rozchodzi się światło? Co o tem możemy powiedzieć z codziennego naszego doświadczenia? Tylko tyle, że światło musi rozchodzić się z nadzwyczaj znaczną prędkością. Wiemy n. p., że błysk wystrzału armaty dobiega nas znacznie wcześniej od huku; światło błyskawicy dobiega nas znacznie wcześniej od grzmotu. A wszakże głos rozchodzi się prędko: w powietrzu przebywa on 340 metrów w ciągu sekundy (§ ~~55~~.). A zatem światło musi biedz jeszcze znacznie prędzej od głosu. Uczeni zmierzyli prędkość rozchodzenia się światła; przekonali się oni, że ***światło przebiega 300000 km w ciągu sekundy.*** A zatem światło biegnie około 900000 razy prędzej od głosu; w tymsamym czasie, w którym n. p. huk wystrzału oddalił się dopiero o jeden ***milimetr*** od miejsca wystrzału, błysk wystrzału zdołał już od tego miejsca odbiedz blisko o cały ***kilometr.***

II 98

§ 1.. . Odległość ziemi od słońca i gwiazd

Ziemia krąży dokoła słońca w średniej odległości, wynoszącej:

148 700 000 kilometrów

Dzieląc tę liczbę przez 300 000 otrzymujemy ~~496~~ (niespełna) 496. A zatem światło zużywa blizko 496 sekund, czyli przeszło 8 minut czasu, ażeby przebyć odległość od słońca do ziemi. Najszybszy pociąg z pomiędzy tych, jakie biegną obecnie na kolejach żelaznych, musiałby pędzić bezustanku *przez 350 lat*, ażeby nas zawieść na słońce; to porównanie uczy, jak niezmiernie wielka jest prędkość, z jaką rozchodzi się światło. Widzimy zarazem, że, gdyby w pewnej chwili słońce nagle zgasło, spostrzeglibyśmy to wydarzenie na ziemi dopiero po upływie 8 minut od chwili zgaśnięcia.

Najbliższa z pomiędzy gwiazd znajduje się 260000 razy dalej od nas niż słońce (§ ~~150~~.). A zatem światło tej gwiazdy biegnie przez dwa miliony przeszło minut, czyli *przez 4 lata mniej więcej*, zanim dobiegnie do ziemi. Inne gwiazdy znajdują się jeszcze dalej. Gwiazda *Syryusz* n. p. znajduje się tak daleko, że światło jej biegnie przez blisko 9 lat, zanim dobiegnie do ziemi. Tymczasem, gdyby światło mogło przejść przez kulę ziemską, odbyłoby ono w ciągu $\frac{1}{23}$-ej części sekundy drogę prostą od bieguna północnego do południowego. Jeżeli zważymy, jak niezmiernie małą cząstką 9-ciu lat jest $\frac{1}{23}$-cia część sekundy, dojdziemy do wniosku, że cała nasza ziemia wobec wszechświata jest jak gdyby kropelką wobec oceanu.

III 1..

106

§ 197. [redacted] Odbijanie się światła.

Wpuśćmy snop światła słonecznego do ciemnego pokoju, jak w § 151.; pozwólmy mu paść na zwykłe płaskie lusterko czyli zwierciadełko (rys. 1??.). Zobaczymy, że światło *odbija się* od zwierciadła, biegnie n. p. do sufitu i tworzy tam obraz jasny, jaki poprzednio padał na tablicę/ Wyobraźmy sobie pokój, widziany z boku, lub jak gdyby przecięty płaszczyzną pionową (rys. 1??.); *O* jest otworem w zasłonie okiennej, *Z* wyobraża zwierciadło. Ustawmy najprzód zwierciadło *Z* tak, ażeby było prostopadłe do snopu światła, [redacted] ażeby z żadnej strony nie nachylało się ku niemu (rys. 150, I). Wówczas światło odbija się wprost napowrót do otworu w zasłonie; nie widzimy wówczas odbitego obrazu. Ustawmy teraz zwierciadło jak na rys. 150., II.; [redacted] snop światła padającego jest/ nachylony ku dolnej części zwierciadła. Spostrzegamy natychmiast obraz *P* na suficie. A zatem, gdy światło padające nie pochylała się ani ku dolnej, ani ku górnej połowie zwierciadła (t. j. gdy [redacted] prostopadłe do niego), światło odbite nie pochyla[redacted] się również ku żadnej. Gdy [redacted] światło padające pochyl[redacted] się ku części dolnej zwierciadła, światło odbite pochyl[redacted] się [redacted] ku górnej. I przeciwnie: gdy [redacted] (jak na rys. 150-im, III.), wówczas obraz *P* pojawia się na podłodze, wówczas zatem światło odbite pochyla się ku dolnej części zwierciadła.



Rys. [redacted] 149.

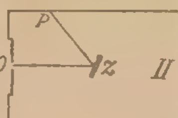
III 193

III 149

/ (§ 193.).

III 150







Rys. [redacted] 150.

/ teraz

[Snop światła padającego jest nachylony ku górnej części zwierciadła (

§ 198. [redacted] Rozpraszanie się światła.

Wyobraźmy sobie dwie powierzchnie: jedną *AB* (rys. 152) gładką, równą, zbitą, jaką [redacted] szkło, rtęć lub wypolerowany metal; drugą *CD* (rys. 151.), nierówną, ziarnistą, [redacted] chropowatą, pełną drobniutkich wyniosłości i zagłębień. Taką powierzchnię ma zwyczajnie papier, gips, drzewo (nie pokryte politurą), płótno; taką również ma skóra naszego ciała. Snop swiatła *P*, padającego na



Rys. [redacted] 151.



Rys. [redacted] 152.

III 151

pierwszą powierzchnię, daje podobny snop światła odbitego *O*, gdyż wszystkie jego promienie odbiją się jednakowo od powierzchni *AB*. Inaczej dzieje się na powierzchni *CD*. Jedne promienie odbiją się od wyniosłości tej powierzchni; inne pójdą głębiej, jak gdyby wchodząc nieco w głąb ciała; na powierzchni ciała utworzy się jak gdyby cienka skórka, do której światło wchodzi i z której napowrót wychodzi. Łatwo zrozumieć, że wychodzące światło nie utworzy już snopu, lecz rozproszy się we wszystkich kierunkach; będzie to, jak zwykle mówimy, światło *rozproszone*. [redacted] Światło [redacted], które nazywamy »dziennem«, jest światłem

słonecznem, rozproszonem w odbiciu od chmur i od przedmiotów, jakie wkoło nas się znajdują.

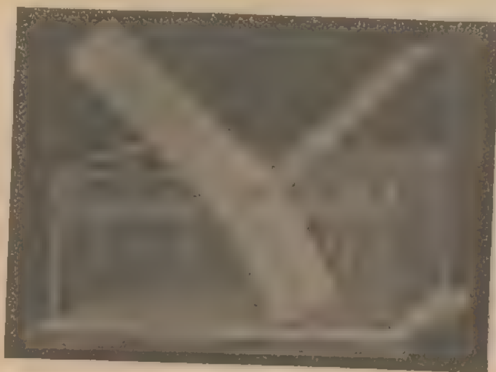
Kiedy snop światła odbija się od czystego zwierciadła *w ciemnym* pokoju, wówczas widzimy obraz odbity, ale samego zwierciadła dostrzedz prawie nie możemy; to znaczy, że całe światło odbite idzie tylko w jednym kierunku. Jeśli zwierciadło jest zapylone, widzimy je, przeciwnie, z różnych miejsc w pokoju; wtedy przynajmniej część światła się rozprasza. Podstawmy rękę, papier lub płótno pod snop padającego światła; nigdzie nie zobaczymy wyraźnego odbitego obrazu, lecz pokój napełni się bladem, nieco mdłem światłem rozproszonem. Pomiędzy rozpraszaniem się a odbijaniem się światła zachodzi więc istotna różnica. Dzięki światłu rozproszonemu widzimy ciało, które je rozprasza; dzięki światłu, wyłącznie tylko odbitemu, widzielibyśmy jedynie ciało, które je wysyła.

§ 199. Widzimy nie tylko świecące ale i oświetlone przedmioty.

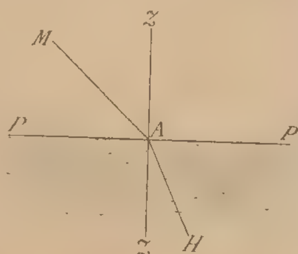
Słońce wysyła światło, jest ciałem świecącem. Gwiazdy, jak Syryusz n. p., są również świecącemi ciałami. Ale planety i księżyc same przez się nie świecą; światło ich jest tylko światłem słonecznem odbitem. Płomień lampy, ogień na kominku, pasemko węgla w zasilanej przez prąd lampce żarowej (§ 134.), kawałek fosforu, robaczek świętojański — wszystko to są ciała świecące. Natomiast mnóstwo otaczających nas ciał nie świeci; ziemia n. p., kamienie, woda, przedmioty drewniane, metalowe, gliniane, sukno, płótno i t. d. są niewidzialne w ciemności i stają się widzialne dopiero, gdy są »oświetlone«, t. j. gdy światło pada na nie skądinąd. A zatem widzimy wszystkie te ciała tylko dzięki światłu, które one odbijają i rozpraszają. W ten sposób n. p. widzimy smugi światła, jeśli promienie słoneczne wchodzą do pokoju przez szczeliny i szpary i jeśli dużo pyłu unosi się w powietrzu; lub też, gdy puściliśmy umyślnie obłoczek dymu w drogę promieni.

§ 200. Załamywanie się światła.

Puśćmy płaską smugę światła na powierzchnię wody, jak pokazuje rys. 153. Zobaczymy przebieg światła przez powietrze i wodę, jeśli wprowadzimy obłoczek dymu do powietrza a do wody dodamy nieco mleka. W powietrzu widzimy dwie smugi, jedną światła padającego, drugą — odbitego. W wodzie widzimy również smugę, ale *nie stanowi ona przedłużenia, w prostym kierunku, smugi, padającej na wodę.* Poprowadźmy linię PP poziomo; niechaj ona wyobraża powierzchnię wody (rys. 154). Poprowadźmy inną linię ZZ pionowo, więc prostopadle do pierwszej. Niechaj MA wyobraża kierunek światła, padającego na wodę; światło, idące przez wodę, ma wówczas kierunek AH, oddaliło się więc od AP a zbliżyło do prostopadłej ZZ. Powiadamy, że *światło załamało się* w przejściu z powietrza do wody.



Rys. 153.



Rys. 154.

§ 201

~~§ 188~~. Dlaczego światło ~~łamie~~ się w przejściu z powietrza do wody.

Światło, jak powiedzieliśmy, rozchodzi się z prędkością 300000 *km* na sekundę. Jest to prędkość zwyczajna, z jaką światło biegnie przez przestworza puste lub prawie puste, n. p. pomiędzy słońcem a ziemią; ~~i jaką~~ biegnie ~~ono~~ również w powietrzu. Lecz światło przez inne ciała biegnie powolniej; n. p., rozchodząc się

H z tą prędkością światło

w wodzie, przebywa około 225000 *km* w ciągu sekundy czyli mniej więcej trzy czwarte drogi, jaką przebywa w tymsamym czasie w powietrzu. Zatem, gdy w powietrzu światło ujdzie n. p. 4 centymetry, w wodzie ujdzie w tymsamym czasie tylko 3 centymetry.



Rys. ~~189~~ 155.

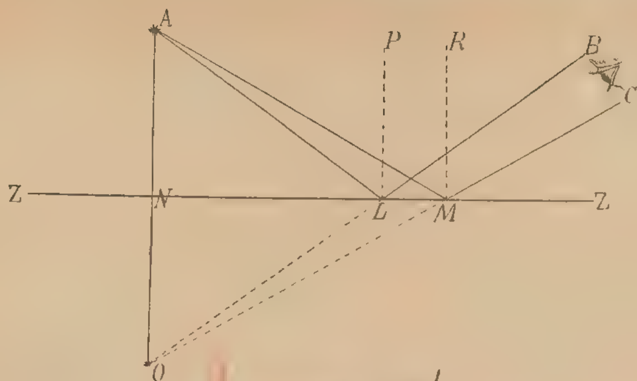
Ta mniejsza w wodzie niż w powietrzu prędkość światła jest przyczyną załamania się światła w przejściu z powietrza do wody. Przypuśćmy istotnie, że na powierzchnię wody *PP* (rys. ~~189~~ 155.) pada snop, czyli wiązka promieni światła. Widzimy na rysunku dwa promienie tej wiązki, *MA* i *ND*, które stanowią jej granice. Światło biegnie *naraz* wszystkimi promieniami wiązki, więc n. p. jest jednocześnie w *M* i w *N*, potem w *R* i w *T*, jednem słowem posuwa się ono naprzód jakby liniami: *MN*, *RT*, *AB* i t. d. Taka linia nazywa się *czołem* wiązki świetlnej. Jeśli wiązka świetlna pada na wodę ukośnie (jak na rysunku), wówczas promień *MA* dobiega do wody nieco wcześniej, niż promień *ND*; gdy pierwszy jest w *A*, drugi jest dopiero w *B*. Pierwszy promień wchodzi teraz do wody; drugi biegnie jeszcze przez powietrze. Światło biegnie powolniej w wodzie niż w powietrzu; w tym czasie, w którym drugi promień od *B* dojdzie do *D*, pierwszy promień odbędzie w wodzie drogę krótszą; przeto czoło wiązki w wodzie nie będzie nachylone taksamo, jak *MN*, jak *RT*, jak *AB*, lecz cofnie się nieco wstecz stroną pierwszego promienia, czyli będzie położone tak, jak *ED* n. p., jak *FG*, jak *HI* i t. d. A zatem kierunek rozchodzenia się światła w wodzie będzie inny niż w powietrzu, będzie mianowicie bardziej zbliżony do prostej dolnej *AZ*, prostopadłej do powierzchni *PP*. ~~Taka jest zatem przyczyna łamania się światła w przejściu z powietrza do wody.~~

żyw.

Przypuśćmy teraz, że światło pada na powierzchnię *PP* prostopadle (a więc tak, jak n. p. *ZA* na rys. ~~189~~ 155.). Czoła w wiązce padającej są wówczas równoległe do *PP* i wszystkie promienie światła wchodzą do wody w tejsamej chwili. A zatem teraz niema powodu, ażeby czoła wiązki nachyliły się w wodzie inaczej niż w powietrzu, ażeby przestały być równoległe do *PP*. Światło w wodzie pójdzie w poprzednim kierunku (w kierunku *AZ* na dół); światło nie załamuje się, gdy wchodzi do wody prostopadle do jej powierzchni.

§ 202. O obrazach odbitych.

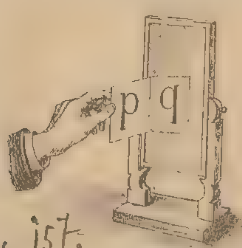
Przypuśćmy, że na zwierciadło ZZ (rys. 156) pada promień światła AL, idący od źródła A. Odbija się on od ZZ w miejscu L, przypuśćmy w kierunku L'B.



Rys. 156.

Lecz A wysyła promienie we wszystkie strony. Inny więc promień, n. p. AM, odbija się w M i pójdzie wzdłuż MC. [redacted] Promienie LB i MC rozchodzą się, podobnie jak rozchodzą się promienie AL i AM. (Albowiem, skoro AM jest bardziej pochylony do ZZ niż AL, więc i MC musi być bardziej pochylony do ZZ, niż LB (zob. §)). Przedłużając BL i CM poza linię ZZ, widzimy, że BL i CM przecinają się w miejscu O; a to miejsce O leży na prostej ANO, prostopadłej do ZZ. Jeśli patrzymy od strony BC, promienie LB i MC sprawiają w oku takie wrażenie, jak gdyby były wyszły z punktu O; albowiem przedłużamy bezwiednie BL i CM aż do przecięcia się w O i pomimowoli przypisujemy promienie LB i MC nieistniejącemu źródłu O, które wysyłałoby je rzeczywiście, gdyby ono tam było a zwierciadła wcale nie było. Tym sposobem powstaje w O t. zw. *obraz* punktu A, widziany w zwierciedle. Taksamo powstają obrazy całych przedmiotów, odbijane przez zwierciadła, szyby lustrzane, przez powierzchnie wód i t. d.

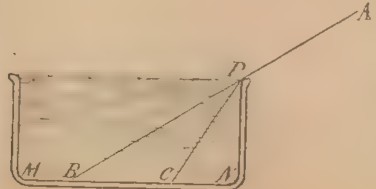
Możemy przekonać się, na rysunku 156-ym, że odległość ON jest równa odległości AN. Tak bywa zawsze przy tworzeniu się obrazów odbitych: [redacted] im dalej od powierzchni zwierciadła znajduje się punkt, wysyłający promienie, tem dalej [redacted] od tej powierzchni widzimy obraz; łatwo więc zrozumieć, że obraz odbity każdego przedmiotu będzie położony przeciwnie niż sam przedmiot względem odbijającej powierzchni; n. p. litera **p** będzie wyglądała w odbiciu jak litera **q** (rys. 157.).



Rys. 157.

§ Niektóre zjawiska, polegające na załamywaniu się światła

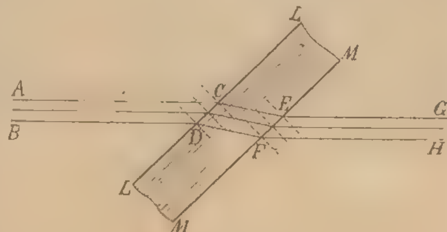
Wiemy, że światło w przejściu z wody do powietrza załamuje się przeciwnie niż w przejściu z powietrza do wody (§ 200.); mianowicie, że oddala się wówczas od linii, prostopadłej do powierzchni granicznej. Możemy to okazać zapomocą prostego przyrządu. Weźmy prostokątne pudełko MNP i narysujmy podziałkę na jego dnie (rys. 158.). Patrząc od A, widzimy wówczas część MB podziałki; resztę BN zasłania ścianka NP samego pudełka. Napełnijmy pudełko wodą i patrzmy z tego samego miejsca A, z którego



Rys. 158.

spoglądaliśmy wprzódy; dzięki załamywaniu się światła widzimy dalszą część podziałki, sięgającą n. p. do *C*. Podobnym sposobem można wytłómaczyć, dlaczego kij, zanurzony do połowy w wodzie, tak, ażeby był nachylony ku powierzchni wody, wydaje się jakgdyby złamany.

Ponieważ w przejściu ze szkła do powietrza światło załamuje się wprost przeciwnie niż w przejściu z powietrza do szkła, zatem łatwo zrozumieć, że promienie światła, jak *AC*, *BD* i t. d. (rys. 159.), trafiwszy na płytkę szklaną o równoległych ścianach *LLMM*, nachyloną do nich ukośnie, pójdą dalej, jak *EG*, *FH* i t. d.; t. j. równolegle do pierwotnych kierunków. Dwa przeciwne sobie załamania każdego promienia znoszą się, jak widzimy na rysunku; snop promieni nie zmieni ostatecznie kierunku, przesunie się tylko, n. p., jak na rys. 159-ym ku dołowi; oczywiście przesunie się tem mniej, im płytka jest cieńsza.



Rys. 159.

Światło załamuje się nie tylko w przejściu z jednego ciała do innego. Gdy mięszamy wodę zimną z bardzo gorącą, spostrzegamy smugi migotliwe, które błyszczą przez chwilę i niebawem znikają. Jest to objaw załamywania się światła w przejściu z wody zimnej do gorącej. Podobne zjawiska dzieją się w atmosferze; są one powodem, że światło nie biegnie przez atmosferę dokładnie prostolinijnie; n. p. światło słońca pod koniec każdego dnia jeszcze przez niejaki czas nas dochodzi, chociaż słońce już zaszło i znajduje się pod widnokręgiem.

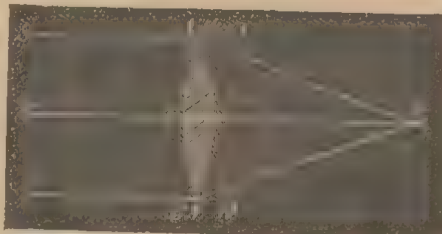
W szkle również światło biegnie powolniej niż w powietrzu, więc załamuje się w przejściu z powietrza do szkła, podobnie jak w przejściu z powietrza do wody.

§ 204. § 163. Soczewka.

Weźmy t. zw. »szkło palące« czyli soczewkę [redacted] wypukłą, wyrobioną ze szkła. (Soczewka wypukła jest to ciało o takiej *postaci*, jaką otrzymalibyśmy, złożywszy dwa szkiełka od zegarka wklęsłemi stronami do siebie). Jak wiadomo, szkło palące gromadzi promienie n. p. słoneczne *SSS* (rys. 160.) w jednem miejscu *F*, t. zw. *ognisku* [redacted] soczewki. Zbliżajmy do soczewki ćwiartkę papieru po stronie odwróconej od słońca; w odległości *F* zobaczymy punkt bardzo jasny, w którym papier niebawem się zwęgla; zapałka tam umieszczona zapala się. A zatem w punkcie *F* skupia się nie tylko światło, lecz i ciepło słoneczne. Co się tu dzieje? Wyobraźmy sobie wiązkę słonecznych promieni *SA*, *SC*, *SB*, padającą na soczewkę *MN*, jak okazuje rys. 161. Widzimy tam (kropkowane) czoła tej wiązki; jednem z nich jest *ACB*. Kiedy promień *SC* jest w *C* i wbiega do szkła, promień *SA* jest w *A* i biegnie przez powietrze. A zatem, kiedy pierwszy promień dojdzie do *E*, drugi promień odbędzie drogę dłuższą, dojdzie n. p. do *D*. Łatwo więc zrozumieć, że czoło wiązki zakrzywi się; zamiast być płaskie jak wprzódy, będzie jak *DEH*, wklęsłe ku *F*. Lecz skoro pierwsze czoło jest zakrzywione i wklęsłe ku *F*, przeto i następne (które na rysunku widzimy kropkowane) będą zakrzywione i wklęsłe ku *F*; innemi słowy, światło od wszystkich części soczewki pójdzie ku *F* i skupi się w *F* t. j. w »ognisku« soczewki.

F (według uwagi, uczynionej na początku niniejszego artykułu)

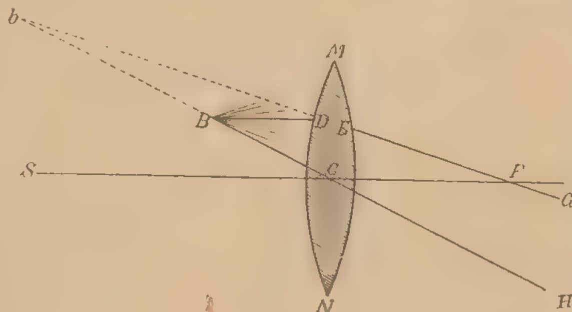

Rys. 160.


Rys. 161.

§ 205. § 164. Obrazy pozorne.

Niechaj *MN* (rys. 162.) wyobraża soczewkę, której ognisko jest n. p. w *F*; *C* jest »środkiem« soczewki; płaszczyzna, idąca przez punkty *M*, *C*, *N* i prostopadła do linii *SCF* jest poprzecznem

przecięciem soczewki, sama zaś linia *SCF* jest *osią* soczewki. Przypuśćmy, że blisko soczewki, n. p. w miejscu *B*, znajduje się punkt, który wysyła światło. Z miejsca *B* rozchodzą się więc promienie we wszystkie strony; z pomiędzy tych promieni uważajmy dwa, mianowicie: 1) promień *BD*, równoległy do osi soczewki; 2) promień *BC*, skierowany ku środkowi soczewki. [redacted] Pierwszy [redacted] *BD* wiemy, że, po załamaniu się w soczewce, przejdzie przez ognisko, zatem pójdzie jak *EF* na rys. [illegible]. O drugim [redacted] promieniu *BC* możemy powiedzieć, że pójdzie dalej w pierwotnym kierunku, zatem jak *CH* na rys. [illegible].; cząstka bowiem powierzchni, przez którą ten promień wchodzi do soczewki, oraz cząstka, przez którą z niej wychodzi, są równoległe do siebie; zatem część soczewki, przez jaką promień *BCH* przebiega, jest dla niego jakby płytką o równoległych ściankach (§ [illegible].), reszta zaś soczewki nie wywiera wpływu na bieg tego promienia. Właściwie więc *CH* będzie



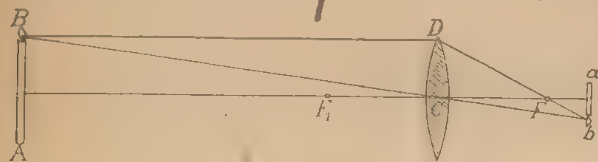
Rys. 162.

linią, *równoległą* do *BC*, nieco względem niej przesuniętą; lecz to [redacted] drobne przesunięcie zaniedbujemy na rysunku. A zatem promienie *BD* i *BC* pójdą za soczewką jako *EFG* i *CH*. Jeśli patrzymy od strony *HG*, promienie te sprawią na nas wrażenie, jak gdyby były wyszły z punktu *b*; albowiem przedłużamy bezwiednie *GFE* i *HC* aż do przecięcia się w *b* i przypisujemy promienie *EFG* i *CH* nieistniejącemu źródłu *b*, które wysyłałoby je rzeczywiście, gdyby znajdowało się w *b* rzeczywiście i gdyby soczewki nie było. Tym sposobem powstaje w *b* »*obraz*« punktu *B*, utworzony przez soczewkę.

§ 206 Obraz rzeczywisty.

Przypuszczaliśmy w [redacted] artyku[redacted] poprzedzających, że przedmiot, rozpatrywany przez soczewkę, znajduje się od niej w odległości nieznacznej i że oko widza, umieszczone ze strony przeciwnej, patrzy na ów przedmiot przez soczewkę nawskróś. Promienie wstępowały do oka *rozbieżnie*, jak gdyby obraz, utworzony przez soczewkę, a nie sam przedmiot, był źródłem, które je wysyła.

Odsuńmy teraz przedmiot od soczewki na znacznie większą odległość. Wówczas promienie wychodzą z soczewki *zbieżnie*, przecinają się za soczewką. Wszak widzieliśmy w art. [illegible], że promienie, idące od słońca, gdy padną na soczewkę i przejdą przez nią, zbierają się w jednym punkcie, mianowicie w ognisku jej *F*. Uważajmy n. p. jakibądź przedmiot *AB* (rys. [illegible].) [redacted] (n. p. świecę zapaloną) i umieśćmy go, jak na rys. [illegible]-ym, daleko od soczewki, mianowicie



Rys. 163.

dalej niż ognisko jej F_1. Jak w art. [illegible]., prowadzimy promień *BD*, równoległy do osi oraz promień *BC* przez środek soczewki *C*. Po przejściu przez soczewkę, promienie te przecinają się teraz w punkcie *b*. W podobny sposób biegną i przecinają się inne promienie, pochodzące od innych punktów przedmiotu *AB*. Widzimy, że w *ab* powstanie *mały i odwrócony* [redacted] obraz przedmiotu *AB*; widzimy zarazem, że powstanie on skutkiem istotnego

przecinania się promieni. Gdybyśmy umieścili za soczewką, w odległości odpowiedniej, kartkę białego papieru, albo szkło matowe, dostrzeglibyśmy rysujący się tam maleńki odwrócony obraz świecy. Obraz przeto *ab* nazywamy *rzeczywistym* [redacted].

Uważajmy powtóre przedmiot drobny *AB* (rys. 201.), który znajduje się znacznie bliżej soczewki niż przedmiot poprzedni; n. p. jak *AB* na rys. 201.; zatem niewiele dalej, aniżeli ognisko soczewki F_1. Widzimy natychmiast, że obecny przypadek jest niejako odwróceniem poprzedniego. Rozumując w znany już sposób, dochodzimy do wniosku, że drobny przedmiot *AB* daje tutaj obraz *ab*, znacznie *większy* od samego przedmiotu i *odwrócony*.

Ilekroć razy przedmiot jest ustawiony w większej odległości od soczewki aniżeli jej ognisko, tylekroć razy utworzy się, po przeciwnej stronie soczewki, obraz *rzeczywisty*, zawsze *odwrócony*. [redacted] *zmniejszony* [redacted], jeśli przedmiot jest odległy; *powiększony* [redacted], gdy ustawimy przedmiot blizko ogniska.

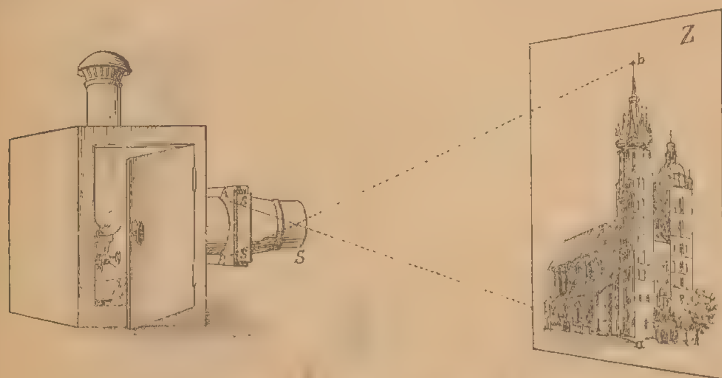


Rys. 202.

Przeciwnie, ilekroć razy przedmiot jest ustawiony w mniejszej odległości od soczewki, aniżeli własne jej ognisko, tylekroć razy, jak widzieliśmy wyżej, tworzy się obraz *pozorny* [redacted], położony po tej samej stronie soczewki, po której znajduje się przedmiot.

§ 167. Latarnia magiczna.

Powszechnie znany przyrząd, zwany *latarnią magiczną*, stanowi przykład sposobów otrzymywania obrazów rzeczywistych (rys. 203.)

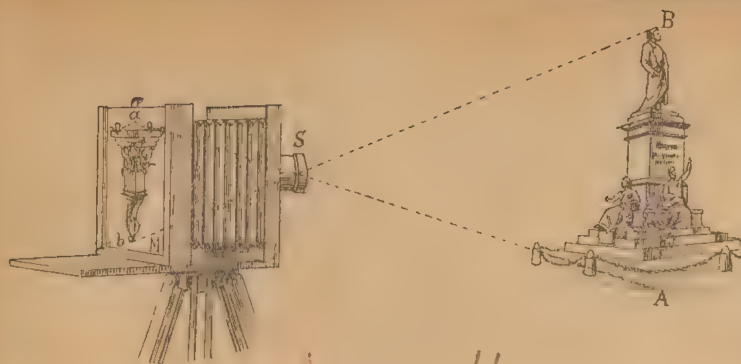


Rys. 203.

Mały przezroczysty (na szkle *ss* wykonany) rysunek *AB*, umieszczony przed soczewką *S*, nieco dalej mianowicie niż jej ognisko, stanowi tu »przedmiot« artykułu poprzedzającego. Oświetlamy go silnie zapomocą lampy, ukrytej wewnątrz latarni. Mamy tu oczywiście przypadek tensam, jak poprzednio na rys. 202. Wkładając rysunek w położeniu *odwróconem*, widzimy wówczas na zasłonie *Z* obraz rzeczywisty powiększony tego rysunku.

§ 168. O fotografii.

Przyrząd fotograficzny jest skrzynką, zaopatrzoną w swej przedniej ściance w soczewkę *S* (rys. 204.); ściankę tylną, umieszczoną naprzeciwko soczewki, stanowi szyba szklana matowa *M*. Mamy tu przypadek poprzedniego rys. 201-go w § 166. Przedmiotem jest odległy pomnik *AB*, lub krajobraz, osoba, cokolwiekbądź wreszcie, co z daleka przysyła świetlne promienie. Na szybie matowej tworzy się obraz rzeczywisty, zmniejszony i odwrócony przedmiotu. Obraz ów utrwalić (укрепить) — jest zadaniem fotografii.



Rys. 204.

Wysunąwszy szybę matową (która służyła do obejrzenia obrazu), wstawiamy na jej miejsce t. zw. *kliszę* czyli szklaną płytkę, na której znajduje się cienka warstewka *żelatyny* (rodzaju kleju), zmięszanej z bromkiem srebra ([illegible]). Pod wpływem światła ciało to rozkłada się, wydzielając ciemny proszek; tym sposobem w najbardziej jasnych miejscach obrazu otrzymamy najsilniejsze przyciemnienie czyli zczernienie na kliszy, w miejscach zaś stosunkowo ciemnych (n. p. [illegible] ubranie czarne, ciemne włosy i t. p.) bromek srebra zmieni się bardzo mało i pozostanie tam przezroczysty. Otrzymamy zatem t. zw. *negatywę* czyli rysunek *ujemny* ([illegible]), w którym cienie i światła rozłożone są wprost przeciwnie niż w rzeczywistości. Mając taką negatywę, trzeba uczynić ją nieczułą na dalsze działanie światła; co uskuteczniamy przez wypłókanie niezmienionego bromku srebra. Z *utrwalonej* tym sposobem kliszy (negatywy) możemy zdjąć dowolną liczbę *kopij* czyli *pozytyw* ([illegible]) (rysunków dodatnich). W tym celu podkładamy pod kliszę kartkę »papieru do kopiowania« czyli fotograficznego. Jest to papier zwyczajny, na którym rozprowadzono znów cienką warstewkę połączeń srebra, czerniejącą pod działaniem światła. Pod jasnemi, przezroczystemi częściami negatywy papier zczernieje, nie zmieni się natomiast pod miejscami czarnemi i nieprzezroczystemi; otrzymamy więc na papierze rysunek dodatni (w którym cienie i światła rozłożone są tak samo jak w rzeczywistości) i trzeba będzie tylko *utrwalić* ten rysunek (podobnie jak poprzednio utrwaliliśmy kliszę), ażeby uzyskać skończoną *fotografię*.

§ 169. Luneta.

Dużą soczewkę wypukłą S (rys. 205.) zwróćmy ku jakiemukolwiek odległemu przedmiotowi, jak kopiec n. p., budynek, księżyc na



Rys. 205.

niebie i t. p. Ustawmy za soczewką, blizko jej ogniska, płytkę szklaną matową. Jak w przyrządzie fotograficznym, zobaczymy na niej obraz odwrócony ab przedmiotu. Jeżeli przedmiot jest bardzo odległy, obraz będzie bardzo maleńki. Ażeby go zobaczyć wyraźniej, stosujemy szkło powiększające. Ustawiwszy za płytką soczewkę s, małą ale silnie powiększającą, a tuż za nią umieściwszy oko (O), zobaczymy powiększony obraz $a_1 b_1$ obrazu pierwotnego ab (por. § 165.). Ale płytka matowa jest teraz oczywiście zbyteczna. Usunąwszy ją, będziemy wciąż jeszcze widzieli powiększony obraz $a_1 b_1$ obrazu rzeczywistego ab, a nawet będziemy go widzieli lepiej, ponieważ płyta zabierała dość dużo światła. Promienie idą teraz wprost od

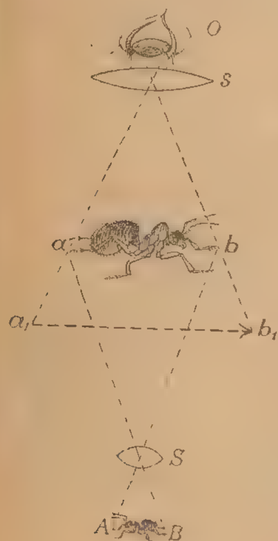
soczewki dużej S do małej s, przecinają się, jak i poprzednio, w punktach a, b i t. d. i dają tam obraz rzeczywisty, który jednak tworzy się teraz *w powietrzu*, tak iż nie zobaczylibyśmy go, patrząc z boku. Patrząc zaś wprost, w kierunku promieni, przy pomocy szkła powiększającego s, dostrzegamy go jako obraz a_1 b_1 (rys. 167.).

Dwie soczewki podobne, duża S i mała s (silnie powiększająca), zamknięte w oprawę czyli rurę metalową, stanowią przyrząd, zwany *lunetą*. [illegible]

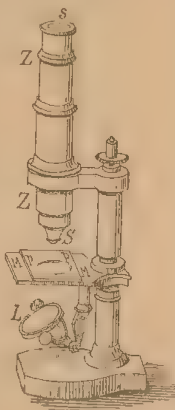
W obrazie, utworzonym przez lunetę, odróżniamy [illegible] z łatwością szczegóły przedmiotu, które bez jej pomocy byłyby [illegible] niedostrzegalne. [illegible] Astronomom oddaje luneta nieocenione usługi, pozwalając oglądać dokładnie szczegóły powierzchni ciał niebieskich, jak słońce, księżyc, planety; gwiazdy t. zw. *„stałe"* [illegible] są tak niezmiernie od ziemi odległe (por. § 166.), że obrazy ich nawet w najsilniejszych lunetach (t. zw. *teleskopach*) rysują się li tylko jako punkty świecące.

§ 210. Mikroskop.

Weźmy soczewkę maleńką S, możliwie silnie wypukłą (rys. 168.). Umieśćmy przed nią jakiekolwiek ciało bardzo drobne, n. p. robaczka AB, cokolwiek dalej od soczewki, aniżeli jej ognisko. Wiemy z art. 166., że soczewka utworzy w takich warunkach, po stronie przeciwnej, obraz rzeczywisty ab, odwrócony i silnie powiększony. Lecz i ten obraz, pomimo owego powiększenia, będzie zazwyczaj jeszcze bardzo mały. Zatem, podobnie jak w artykule poprzedzającym, zastosujmy drugą soczewkę s jako szkło powiększające, do oglądania obrazu. Otrzymamy wówczas obraz pozorny a_1 b_1 znacznie powiększony. *Mikroskop* (czyli przyrząd, służący do oglądania nader drobnych przedmiotów) składa się właśnie z takich dwóch soczewek: jednej maleńkiej, lecz silnie wypukłej i z drugiej, działającej jako szkło powiększające. Obie soczewki mieszczą się w oprawie czyli rurce metalowej ZZ (rys. 169.); przedmiot oglądany kładziemy na płytce szklanej pp, tę zaś znowu na stoliku MM, mającym otwór w środku. Lusterko L, umieszczone pod otworem, oświetla przedmiot od dołu.



Rys. 168.



Rys. 169.

§ 211. Pryzmat.

Weźmy pryzmat [illegible] (czyli graniastosłup trójkątny), wyrobiony ze szkła, jaki widzimy na rys. 171. Wyobraźmy sobie, że na



Rys. 171.



Rys. 171.

jednę ścian pryzmatu, które mają postać prostokątów, pada promień światła; n. p. na rys. 171. promień OM na ścianę RZ. Zbudujmy dalszą drogę promienia, według praw załamywania się światła: w pryzmacie będzie nią MB, po wyjściu z pryzmatu będzie nią BA. Przez drugie załamanie się, w miejscu B, odchylenie promienia od jego pierwotnego kierunku powiększa się jeszcze, inaczej niż w płytce o ścianach równoległych (§ 203.), gdzie drugie załamanie znosiło odchylenie, sprawione przez pierwsze.

§ 212. Światło niebieskie ma inną łamliwość niż czerwone



Rys. 172

Do zaciemnionego pokoju wpuśćmy snop promieni słonecznych przez otwór O w okiennicy (rys. 172.). Zastawmy ten otwór tafelką szkła, zabarwionego na czerwono; otrzymamy tym sposobem snop czerwonych promieni, który rzucamy na pryzmat w sposób, znany z artykułu poprzedzającego. Promienie te łamią się w pryzmacie i dają obraz czerwony w miejscu C na tablicy. Nie zmieniając położenia otworu, pryzmatu, ani tablicy, zasłońmy otwór szkłem niebieskiem, zamiast jak wprzódy czerwonem. Promienie niebieskie dadzą wówczas na tablicy obraz niebieski *nie* w temsamem miejscu, w którym tworzył się czerwony, lecz w *innem* miejscu N. — Widocznie światło niebieskie załamuje się w pryzmacie znaczniej, niż światło czerwone.

Różną łamliwość niebieskich i czerwonych promieni można okazać w następujący prosty sposób. Na kawałku tektury naklejamy dwa paski: jeden czerwony, drugi niebieski, tak, żeby jeden leżał w prostem przedłużeniu drugiego. Patrząc na paski przez pryzmat szklany (lub lepiej przez naczynie szklane w kształcie pryzmatu, wypełnione dwusiarczkiem węgla), zobaczymy, że wydają się położone tak, jak gdyby nie stanowiły prostej linii.

§ Rozszczepianie się światła słonecznego.

Przekonamy się teraz, że promień zwykłego światła słonecznego jest *mieszaniną promieni, mających rozmaite barwy.*

Przypuśćmy, że na pryzmat (rzucamy) (w sposób jak w artykule poprzednim) mieszaninę promieni czerwonych i niebieskich; mieszanina ta, załamując się w pryzmacie, rozdzieliłaby się oczywiście na swe części składowe. Otrzymalibyśmy więc na tablicy dwa obrazy, czerwony i niebieski, pierwszy pod drugim. Tak dzieje się właśnie, gdy zwykłe światło słoneczne pada na pryzmat. Światło to rozdziela się wówczas na swe części składowe lub, jak mówimy, *rozszczepia się*. Z pomiędzy promieni, zawartych w świetle słonecznem, najmniejszą łamliwość w szkle mają promienie czerwone, największą łamliwość mają fioletowe. Widzimy więc na tablicy szereg barwnych obrazów: widzimy naprzód ciemnoczerwony, który stopniowo przechodzi w pomarańczowy, ten przechodzi w żółty, dalej w zielony, w niebieski, w błękitny i nakoniec w fioletowy. Jest tam właściwie niezmiernie wiele odcieni, lecz byłoby trudno nazwać więcej niż wymienionych

siedm zabarwień; przynajmniej w mowie potocznej brak na to utartych wyrażeń. Taki szereg barwnych obrazów nazywa się *widmem* ([redacted]), jak tutaj słonecznem; przypomina on *tęczę* ([redacted]), bo też tęcza powstaje w sposób podobny, przez załamywanie się światła w drobnych kropelkach wody, zawieszonych w powietrzu.

§ 214. [redacted] Promienie niewidzialne.

Słońce nie tylko świeci ale i grzeje; a zatem przysyła nam nie tylko światło lecz także i ciepło. Wprowadźmy czuły termometr do widma słonecznego; przekonamy się, że promienie różnych barw grzeją, lecz czerwone grzeją bardziej niż n. p. niebieskie. Gdybyśmy użyli pryzmatu, wyrobionego z soli kamiennej, zamiast pryzmatu szklanego, *zobaczylibyśmy* widmo podobnie jak poprzednio, ale moglibyśmy dowieść, że jakieś *niewidzialne promienie padają i poza jego końcem czerwonym*, tam, gdzie nie widzimy już światła; albowiem termometr ogrzewałby się tam, nawet bardziej, niż w widmie widzialnem. Promienie, które padają poza czerwony koniec widma, nazywają się »pozaczerwonymi«. Mają one widocznie łamliwość jeszcze mniejszą niż promienie czerwone; na oko nie działają, ale działają na termometr. Weźmy dalej pasemko bibuły, napojonej roztworem azotanu srebra (lapisu); bibuła taka czernieje na słońcu. Czernieje ona również w różnych częściach widma słonecznego, w fioletowej prędzej niż n. p. w zielonej; ale czernieje też i *poza* fioletowym końcem widma, gdzie nie widzimy już światła, a nawet czernieje tam prędzej niż w widmie widzialnem. Z tego wszystkiego widzimy, że *światło jest tylko jednym ze skutków*, jakie sprawiać mogą promienie słoneczne.

/ = swego

Rozgrzany kawałek żelaza wysyła podobnież rozmaite promienie[redacted]. Gdy jeszcze nie jest bardzo znacznie ogrzany, wysyła tylko pozaczerwone promienie, grzejące lecz nie świecące; powiadamy wówczas, że żelazo promieniuje ciepło, ale nie świeci. W temperaturze wyższej żelazo wysyła coraz nowe promienie. Jeśli wysyła promienie czerwone, mówimy: „żelazo jest rozgrzane do czerwoności". Skoro wysyła nietylko czerwone, lecz i wszelkie inne promienie, powiadamy wówczas, że jest „rozgrzane do białości".

§ 215 ~~§ 177.~~ Barwa jest tem dla światła, czem wysokość dla dźwięku.

Gdy na sekundę udzielamy powietrzu około trzydziestu regularnie powtarzających się wstrząśnień, wówczas, jak wiadomo z § 41., *zaczynamy słyszeć*; słyszymy mianowicie pewien dźwięk bardzo nizki. Udzielajmy wstrząśnień kilka tysięcy w ciągu sekundy a usłyszymy dźwięk pewien *wysoki*; udzielajmy ich więcej (w tymsamym czasie jednej sekundy) a dźwięk stanie się wyższy i wyższy i nareszcie *przestaniemy go słyszeć.*

We własnościach promieni słonecznych znajdujemy teraz podobne stosunki. Promienie o łamliwości małej istnieją, chociaż ich nie widzimy; moglibyśmy o nich powiedzieć, że stanowią »ciemne światło«. Gdy łamliwość promieni jest taka, jaką mają promienie czerwone, *zaczynamy widzieć*; widzimy mianowicie barwę czerwoną. Gdy łamliwość coraz jest większa, widzimy dalsze barwy; gdy staje się taka, jaką mają fioletowe promienie, jeszcze widzimy, ale zaraz dalej *przestajemy widzieć.* A zatem *barwa* jest czemś takiem dla *światła*, czem jest dla *dźwięku* jego *wysokość*.

§ 216. ~~§ 178.~~ Promieniowanie.

Powiadamy więc teraz poprawniej: od słońca, od gwiazd, od płomieni i od ciał ogrzanych rozbiega się na wszystkie strony z niezmierną prędkością *promieniowanie* [redacted]. Część tego promieniowania, jeśli trafi pośrednio czy bezpośrednio do oka, stanie się widzialna a więc będzie tem, co nazywamy *światłem.* Lecz wszelkie promieniowanie, jeśli w jakiembądź ciele zatrzyma się choć w części, jeśli nie przejdzie przez nie całkowicie nawskroś, zamieni się zaraz na ciepło lub wzbudzi działanie chemiczne. Ciepło jest pewnym rodzajem energii; budzenie działań chemicznych jest też gromadzeniem energii. Więc *promieniowanie jest szczególnego rodzaju energią*, która może płynąć z niezmierną prędkością przez powietrze, przez wodę, przez szkło, przez puste pomiędzy gwiazdami przestworza lub też przez ciała gęste i zbite.

Zakończenie.

§ 217. ~~§ 179~~. O materyi.

Przypuśćmy, że stół jest z dębiny, szafa z olszyny a deska z sośniny. Powiadamy, że dębina, olszyna, sośnina — to różne gatunki *drewna* ~~(дерева)~~. Co znaczy więc: »drewno«? »Drewno« nie oznacza ani dębowego, ani bukowego, ani topolowego drewna, ani żadnego innego określonego gatunku; mówiąc »drewno«, mamy na myśli *którykolwiekbądź* z pomiędzy różnych jego gatunków. Widocznie to, co chcemy powiedzieć o »drewnie«, stosuje się zarówno do wszystkich jego gatunków.

Podobnie mówimy, że n. p. gwóźdź i hak są z żelaza, że grosz i rondelek są z miedzi, że tu mamy kawałek węgla, tam kawałek siarki lub kroplę rtęci. Powiadamy, że rtęć, siarka, węgiel, miedź i żelazo są to różne gatunki albo rodzaje *materyi*. Co więc znaczy »materya«? Nie oznacza ona rtęci, ani siarki, węgla, żelaza i miedzi, ani żadnego innego określonego gatunku materyi. Mówiąc »materya«, mamy na myśli *którykolwiekbądź* z pomiędzy jej różnych gatunków. Widocznie to, co chcemy powiedzieć o »materyi«, stosuje się zarówno do wszystkich gatunków materyi. Albowiem, jak widzieliśmy, bardzo wiele prawd naukowych stosuje się zarówno do żelaza, do rtęci, do powietrza, do wody, do wszystkich (jednem słowem) gatunków materyi; więc powiadamy, że te prawdy naukowe, czyli prawa, stosują się wogóle *do materyi*.

§ 218. ~~§ 180~~. O energii.

Z codziennego doświadczenia znamy różne rodzaje materyi; w Nauce Fizyki zaś poznaliśmy rozmaite rodzaje *energii*. Przekonaliśmy się (w rozdziale I.), że ciężar podniesiony ma pewnego rodzaju energię; że sprężyna skręcona i rzucony kamień mają pewnego rodzaju energię. Kula, wystrzelona z armaty, ma energię, ponieważ porusza się i ma masę. Podobnie ziemia ma olbrzymią energię, ponieważ porusza się i ponieważ, powtóre, słońce ją przyciąga. Wiemy (z rozdziału II.), że słup wody ma pewną energię i że ma ją podobnie słup atmosferycznego powietrza; że powietrze i woda mogą przenosić i w różne strony rozprowadzać energię. Przekonaliśmy się (w rozdziale III.), że woda falująca ma energię i że ma ją podobnie powietrze, w którem rozchodzi się głos. W rozdziale IV. widzieliśmy, że ciepło nie jest czem innem, jak pewnym rodzajem energii. Poznaliśmy (w rozdziale V.) prąd elektryczny, który powstaje z energii i ma też dlatego energię. Nakoniec, w rozdziale ostatnim mówiliśmy o promieniowaniu, jako o szczególnym rodzaju energii, mogącym biedz z niezmierną prędkością przez materyę zarówno jak przez próżnię. A więc odnajdywaliśmy wszędzie rozmaite rodzaje *energii*, zawsze tejsamej, jedynej.

